

MÉMOIRES

DE LA

SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES

DE LIÉGE.

MÉMOIRES

DE LA

SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES

DE LIÉGE.

Nec temere nec timide.

13.

TOME TREIZIÈME.



LIÉGE,

CHEZ H. DESSAIN, IMPRIMEUR.

BRUXELLES, CHEZ C. MUQUARDT. LEIPZIG, MÊME MAISON.

PARIS, CHEZ RORET, LIBre. RUE HAUTEFEUILLE, 10 *bis*.

1858.

I. — *Cours élémentaire sur la fabrication des bouches à feu en fonte et en bronze, et des projectiles;*

PAR

COQUILHAT, major d'artillerie,

SOUS-DIRECTEUR de la fonderie de Liége, Chevalier de l'ordre de Léopold, décoré de la croix commémorative de Belgique, Chevalier de l'ordre du Lion Néerlandais, Chevalier de 3me classe de l'ordre de l'Aigle rouge de Prusse, Chevalier de 2me classe de l'ordre de St Stanislas de Russie, Membre de la Société Royale des Sciences de Liége.

TROISIÈME PARTIE.

TOURNAGE, ACHÈVEMENT, VISITES, ÉPREUVES DES CANONS.

LIVRE I.

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES TOURS. TOURNAGE DES BOUCHES A FEU ET DES GLOBES D'ÉPROUVETTE.

CHAPITRE I.

TOUR EN L'AIR. — TOUR A DEUX POINTES.

ARTICLE I.

DÉFINITION DU TOUR. — TOUR ORDINAIRE. — INDICATION DE QUELQUES LIEUX GÉOMÉTRIQUES RÉALISABLES AVEC LE TOUR.

La forme extérieure des bouches à feu est composée de surfaces de révolution, à l'exception de quelques parties saillantes telles que les visières, les champs de lumière, les fronteaux de mire, les crocs de brague, etc., etc. Ces surfaces doivent être achevées par un travail particulier lorsqu'elles n'ont pu être obtenues dans

le coulage avec la netteté désirable et l'exactitude voulue dans les dimensions.

Ce travail se fait sur une machine nommée tour. *Le tour est un appareil avec lequel on contourne les objets suivant des surfaces de révolution.*

Les tours varient dans leurs formes. Le *tour ordinaire* est le plus simple. Pour tourner un corps solide avec cette machine, l'objet est suspendu sur des supports qui ne lui permettent d'autre mouvement que celui de rotation autour d'un axe invariable, tandis qu'un outil tranchant, parcourant lentement la courbe génératrice de la surface de révolution, enlève toutes les parties du solide qui ne sont pas comprises dans cette surface.

Au moyen du double mouvement de rotation de l'objet à tourner et de translation de l'outil, on peut réaliser sur le tour ordinaire quelques-unes des méthodes indiquées par la géométrie descriptive pour la génération des surfaces. C'est ainsi qu'on obtient :

1° *Une surface cylindrique*, lorsque l'outil se meut suivant une droite parallèle à l'axe de rotation.

2° *Une surface conique*, quand la ligne droite suivie par l'outil, suffisamment prolongée, vient couper l'axe de rotation et qu'elle est inclinée sur cet axe.

3° *Une surface plane*, si la ligne droite parcourue par l'outil est dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

4° *Un hyperboloïde de révolution*, si l'axe de rotation et la droite parcourue par l'outil sont obliques l'un sur l'autre et non compris dans un même plan.

5° En supposant que l'outil se meuve suivant une circonférence de cercle.

A Une sphère, quand l'axe de rotation de l'objet à tourner et le plan du cercle parcouru par l'outil sont parallèles, et que l'axe de rotation coupe la droite menée au centre du cercle perpendiculairement à son plan.

B Un tore, une gorge, un anneau, une doucine, etc., lorsque l'axe de rotation de l'objet et le plan du cercle décrit par l'outil sont parallèles, et que la droite menée au centre du cercle perpendiculairement à son plan ne rencontre point l'axe de rotation de l'objet.

C Un ellipsoïde de révolution, lorsque l'axe de rotation est obli-

que au plan du cercle parcouru par l'outil et est coupé par la perpendiculaire menée par le centre de ce cercle.

ARTICLE II.

MANIÈRES DIVERSES DE CONSTITUER LES TOURS. — MACHINES APPELÉES TOURS PAR EXTENSION. — DÉFINITION PLUS GÉNÉRALE.

Certaines causes peuvent s'opposer au mouvement de rotation de l'objet ; s'il possède, par exemple, une masse trop considérable : dans ce cas, on imprime à l'outil un double mouvement de révolution autour de l'objet et de translation suivant la courbe génératrice de la surface.

Le tournage des tourillons des bouches à feu a lieu de cette manière. Le couteau décrit un cercle autour de l'axe des tourillons en avançant à chaque tour d'une petite quantité vers le corps de la pièce. La surface cylindrique sur laquelle se fait ce mouvement devient celle du tourillon après le passage de l'outil.

On parvient à contourner les objets suivant des surfaces très-variées en imprimant à l'outil et à l'objet certains mouvements de translation ou de rotation avec des vitesses relatives déterminées. Les machines qui présentent ces combinaisons de mouvement sont aussi appelées *tours*, quoiqu'elles ne puissent pas toujours servir à former des surfaces de révolution.

Considérées à ce point de vue, on appelle généralement *tours*, *toutes les machines servant à façonner les objets par la continuité de l'action de l'outil.* Ainsi on range parmi les tours les machines à dresser les surfaces, à forer, à mortaiser, à fileter, à scier, à creuser, à diviser, etc., etc.

Notre intention n'est pas de faire un traité complet sur les tours, nous ne donnerons que les notions nécessaires pour comprendre les appareils et les outils servant au travail des métaux et en usage à la fonderie de Liége pour le tournage des bouches à feu.

ARTICLE III.

GÉNÉRALITÉS SUR LES TOURS ORDINAIRES. — TOUR EN L'AIR. — TOUR A POINTES. — PARTIES QUI COMPOSENT LE TOUR EN L'AIR.

Il faut considérer dans un tour ordinaire :

1° Quels sont les moyens de suspension de l'objet et ceux qui

lui procurent le mouvement de rotation autour d'un axe invariable.

2° Quelle est la nature de l'outil, son action sur la matière à enlever, la manière de le fixer et de le diriger suivant la courbe génératrice de la surface de révolution.

Il y a deux sortes de tours ordinaires :

Le tour en l'air dans lequel l'objet est suspendu par une seule extrémité. (Fig. 1, planche XXIV).

Le tour à deux pointes, dans lequel l'objet est serré entre deux pointes dirigées suivant l'axe de rotation (fig. 2).

Le tour en l'air se compose de 5 parties principales :

1° La *poupée* : appareil servant à fixer l'arbre du tour.

2° *L'arbre de la poupée*, servant d'axe à la roue motrice.

3° *L'appareil pour fixer l'objet à l'extrémité de l'arbre du tour.*

4° La *roue motrice*, imprimant le mouvement de rotation à l'arbre du tour.

5° Le *banc du tour*, ou *établi*, servant de base pour fixer la poupée et les appareils supportant l'outil.

ARTICLE IV.

DE LA POUPÉE.

Planche XXIV.

La poupée est l'appareil qui supporte l'arbre du tour. Les formes en sont très-variées ; une des plus simples pour les tours destinés au travail des métaux, consiste en deux supports ou montants unis par une semelle, ou par des traverses, le tout en fonte et coulé d'une seule pièce. Les dimensions doivent être suffisantes pour prévenir les vibrations qui rendraient le travail défectueux.

Les montants de la poupée ont à leur partie supérieure des encastrements, pour le logement des coussinets entre lesquels tourne l'arbre.

La semelle est reliée au banc par des boulons à écrou, qui traversent une barre mobile en fer forgé ou en fonte placée sous les jumelles du banc.

ab (fig. 3) Boulon.

cd Traverse reçue dans une entaille pratiquée sous chaque jumelle du banc et relié à la semelle *c f* par le boulon *ab*.

On assure à la poupée une direction toujours parallèle à l'axe du banc, au moyen de deux saillies ou talons en dessous de la

semelle, emboitées à frottement doux dans la rainure ou intervalle entre les jumelles du banc.

La hauteur des montants ou supports de la poupée, doit permettre de monter la roue motrice dans leur intervalle sur l'arbre du tour. Lorsque cette hauteur est insuffisante, on place la roue motrice en dehors de la poupée sur le prolongement de l'arbre ; mais cette disposition est moins avantageuse.

a b (fig. 1) Montant de derrière de la poupée.

c d Montant de devant.

a c Semelle unissant les montants de la poupée.

e f g h Boulons reliant la poupée au banc.

Fig. 5. Montant de poupée. Vue de face.

a b c d. Encastrement des coussinets.

i k Talon : partie saillante sous chaque montant guidant la poupée de manière qu'elle reste toujours parallèle à l'axe du banc.

ARTICLE V.

DE L'ARBRE DE LA POUPÉE.

Planche XXIV.

L'arbre de la poupée *ik* (fig. 1) sert d'axe à la roue motrice et de support à l'appareil sur lequel on fixe l'objet à tourner. Il est ordinairement en fer forgé et tourné. Il est maintenu entre deux paires de coussinets, qui sont logés dans des encastrements ménagés à la partie supérieure des montants de la poupée.

Chaque paire de coussinets est coiffée d'une bride ou chapeau (en fer ou en fonte), *e f* (fig. 5) ; relié aux montants par deux boulons à vis *g*, *h*.

Une vis de pression *l*, traverse le milieu de chaque chapeau et resserre plus ou moins le coussinet sur l'arbre, de manière à éviter tout ballottement et tout excès de frottement.

Des trous percés dans les coussinets et aboutissant à des sillons creusés dans leur surface cylindrique, permettent l'arrivée de l'huile qui lubrifie les surfaces.

Il y a plusieurs moyens d'empêcher l'arbre de glisser sur les coussinets dans le sens de son axe.

Nous citerons :

Les *embases a a*, *b b* (fig. 7), rondelles ou saillies de l'arbre fesant épaulement contre les coussinets.

Les embases ayant de plus grands rayons que l'arbre, donnent lieu à des frottements considérables lorsqu'elles s'appuient contre

les coussinets pour résister à la pression produite, soit dans le travail, soit par la pointe mobile resserrée contre l'extrémité libre de l'objet. De plus, des ballottements peuvent avoir lieu dans le sens de l'axe lorsque les embases sont usées.

Les *clefs*, lames en fer ou en acier, reçues dans des mortaises pratiquées dans les coussinets ou fixées à la poupée même et *s'engageant dans des rainures ou gorges étroites creusées sur l'arbre.*

Ce moyen est d'une application facile, mais il présente l'inconvénient d'user et d'affaiblir l'arbre, d'en accélérer la mise hors de service, et de ne s'opposer qu'imparfaitement à son glissement suivant son axe.

Une bonne combinaison, *consiste dans l'emploi d'une vis de pression* *i* (fig. 1 et 2). Cette vis terminée en pointe suivant l'axe de l'arbre, est fixée aux coussinets de derrière et dans *une embase intérieure* *n o* (fig. 1) contre les coussinets de devant.

Cette embase devient inutile si l'on donne à la partie de l'arbre reçue entre les coussinets de devant une forme tronc-conique *a b*, (fig. 8) dont la grande base est vers le corps de l'arbre.

La *vis* empêche l'arbre de céder à la pression produite dans le travail et ne donne lieu qu'à un frottement négligeable à cause de la petitesse de sa pointe, tandis que *l'embase* ou le *tourillon tronc-conique* s'oppose au glissement vers le devant de la poupée.

Il est utile de faire servir la poupée à deux fins, comme tour en l'air et comme tour à deux pointes. A cet effet on termine l'arbre, sur le devant de la poupée, par une pointe conique, mobile à volonté, *k* (fig. 1).

Cette pointe, en acier trempé, présente une tige cylindrique ou légèrement conique reçue dans un logement creusé sur le bout de l'arbre. Pour avoir la pointe concentrique avec l'axe du tour, on a soin de la tourner avant la trempe, sur l'arbre même.

Quel que soit le mode employé pour fixer l'objet à tourner, il est avantageux que l'arbre présente une embase ou rondelle extérieurement et sur le devant de la poupée.

L'extrémité de l'arbre doit avoir une forme qui permette d'y adapter l'appareil servant à fixer l'objet à tourner.

Un bon moyen consiste à fileter le bout de l'arbre, (fig. 7 et 8), et à engager le bout fileté dans un écrou pratiqué sur l'appareil à fixer l'objet à tourner. On rend l'assemblage plus solide en vissant l'appareil jusqu'à ce qu'il vienne s'appliquer exactement sur l'embase que l'arbre présente de ce côté.

Afin que le mouvement de rotation de l'arbre ait lieu autour d'un axe invariable, il faut que les parties de l'arbre reçues dans les coussinets soient *parfaitement circulaires et concentriques.*

On doit pouvoir rapprocher les coussinets à mesure qu'ils s'usent par le frottement, afin de les maintenir toujours en contact avec l'arbre et d'éviter un déplacement de l'axe de rotation.

On se ménage cette faculté en enlevant une couche d'une certaine épaisseur aux surfaces de jonction des deux coussinets. On se réserve en même temps la facilité de déplacer les coussinets latéralement, pour ramener l'axe de l'arbre dans le plan de symétrie de la poupée, en donnant un peu de jeu aux coussinets dans leurs encastrements, et en les empêchant de ballotter par des coins ou calles en fer.

ARTICLE VI.

DE L'APPAREIL SERVANT A FIXER L'OBJET A TOURNER.

Planche XXIV.

Ces appareils de formes variées, dépendent de la matière et de la figure de l'objet à tourner. Une vis à l'extrémité de l'arbre, sert à fixer les plateaux et tampons en bois. Un bout carré, percé d'une mortaise pour le passage d'une clavette, permet d'ajuster sur l'arbre un manchon dans lequel l'objet est logé en tout ou en partie et assujetti par des vis de pression, par des coins, par le frottement, etc.

La meilleure disposition pour travailler le fer et les métaux consiste en une plate-forme ou plateau, circulaire en fonte ou en bronze, perpendiculaire à l'axe du tour et maintenu sur l'arbre par un écrou percé dans la plate-forme dans lequel on engage le bout fileté de l'arbre. De là le nom de *tour à plate-forme* (fig. 1).

Lorsqu'il y a, en outre, une pointe *k* (fig. 1) à l'extrémité de l'arbre, l'appareil est appelé *tour à plate-forme et à pointe.* Nous ne nous occuperons que de ce tour.

L'objet est relié à la plate-forme de plusieurs manières qui dépendent de sa forme et de ses dimensions; par des vis de pression, par des brides maintenues par des boulons à marteau et à écrou, par des étriers, etc., etc. Le moyen le plus usité consiste dans les vis de pression traversant un écrou percé dans la tête d'un boulon.

L'ensemble constitue un appareil nommé *mâchoire* (fig. 9).

a b c d (fig. 9). Tige carrée de la mâchoire reçue dans une mortaise percée dans la plate-forme.

b c f e Tête du boulon ou de la mâchoire.

g h Écrou s'engageant sur le bout fileté de la mâchoire.

i k Vis de pression traversant la tête de la mâchoire.

Les mâchoires sont vissées sur la plate-forme aux places convenables et munies des vis de pression entre lesquelles on saisit l'objet.

La figure (14) représente un boulon à marteau employé seul ou concurremment avec un des moyens indiqués suivant la forme des objets.

La plate-forme *p p* (fig. 1) doit être bien dressée et perpendiculaire à l'axe du tour. Elle est percée d'un grand nombre de mortaises pour le placement des mâchoires. Il importe que l'on puisse fixer l'objet dans une position déterminée relativement à l'axe du tour, ce qui s'appelle le centrer.

En conséquence, la plate-forme présente un grand nombre de lignes ou sillons circulaires peu profonds concentriques à l'axe de l'arbre.

Ces cercles servent à repérer la position de l'objet relativement au centre de la plate-forme.

Il est essentiel que la plate-forme soit suffisamment solide et convenablement fixée sur l'arbre de manière à prévenir toute flexion, toute vibration qui nuiraient au travail.

ARTICLE VII.

DE LA ROUE MOTRICE.

La roue motrice est montée sur l'arbre du tour et mise en mouvement par un moteur : elle est à engrenages ou à courroie ; dans ce dernier cas elle s'appelle *poulie.*

Les roues à engrenages coûtent cher, demandent de la précision dans l'ajustage et donnent lieu à une suite de petits chocs à chaque rencontre des dents.

Les poulies à courroie, ont des mouvements moins brusques et permettent l'action du moteur à des distances auxquelles il serait difficile d'atteindre avec les roues à engrenages. Mais les courroies exercent de fortes pressions sur les axes et leurs coussinets, et en déterminent l'usure prompte et inégale. La quantité de travail nuisible est donc plus grande avec les poulies à courroie qu'avec les roues à engrenages.

L'entretien des courroies est en outre coûteux.

La pression exercée sur les axes par les courroies doit être proportionnelle à la résistance éprouvée par l'outil : on conçoit que la pression deviendrait énorme pour les travaux qui exigent de grands efforts, tels que le forage des canons de gros calibres; aussi leur préfère-t-on, dans ce cas, les roues à engrenages.

Les courroies ont l'avantage de glisser sur la poulie lorsque l'action de l'outil devient accidentellement trop forte : ce glissement fait éviter la rupture de l'outil ou des appareils de tour. Compensation faite des avantages et des inconvénients, on préfère généralement les poulies à courroie, quand il ne s'agit pas de produire de grands efforts.

La roue motrice doit être ajustée sans ballottement sur l'axe du tour. Un bon moyen consiste à percer dans l'axe de la roue un trou cylindrique dans lequel on fait entrer *l'arbre* à frottement, et à fixer ces deux pièces l'une à l'autre par une clef ou coin.

La circonférence de la roue doit être concentrique à l'axe de rotation et dans un plan perpendiculaire.

Les dents des roues à engrenages doivent être bien ajustées, d'égales dimensions, à surfaces épicycloïdales, etc.; ces détails sont du domaine de la mécanique industrielle.

Il est important de pouvoir arrêter le mouvement à volonté. Les systèmes d'échappement sont plus ou moins compliqués. On désengrène facilement deux roues à dents en fesant glisser l'une d'elles sur son axe.

Lorsqu'il s'agit de poulies à courroie, on en place ordinairement deux, d'égal diamètre, l'une à côté de l'autre, la *poulie motrice* et la *poulie folle m m*, *l l* (fig. 1, planche XXIV).

La poulie folle diffère de la poulie motrice, en ce qu'elle n'est pas fixée sur l'arbre, mais peut tourner dessus comme une roue sur son essieu. Pour arrêter le tour, il suffit donc de faire passer la courroie de la poulie motrice sur la poulie folle.

Les poulies sont légèrement bombées au milieu de la largeur de leur circonférence, afin de maintenir les courroies. Ce moyen est préférable aux rebords que ces roues présentaient autrefois.

Pour entrainer une poulie, il faut que sa courroie s'enroule sur une autre poulie, la poulie maîtresse, placée sur l'arbre du manège, et l'on dit que cette dernière commande la première. Les diamètres de ces deux roues sont réglés de manière à obtenir la vitesse voulue.

La poulie maîtresse doit être cylindrique, afin que la cour-

roie reste sur la poulie motrice ou folle sur laquelle on la fait passer.

Nous avons déjà fait remarquer que la vitesse de rotation doit varier avec le diamètre de la partie à tourner : de là des embarras par suite du déplacement des roues motrices et de leur remplacement par d'autres roues ayant des diamètres correspondants aux vitesses exigées. On les évite en montant sur l'arbre du tour plusieurs poulies juxtaposées et de diamètres différents, à l'ensemble desquelles, on donne le nom de poulie poire *l m* (fig. 2 et 3, planche XXIV).

Le tour est commandé par une autre poulie poire *r s* (fig. 3 et 4, planche XXIV) en regard de la première, mais dont les différentes poulies sont placées dans un ordre inverse de grandeur; c'est-à-dire que la plus petite poulie de la poire motrice correspond à la plus grande poulie de la poire maîtresse.

Les diverses poulies des poulies poires, sont d'égales largeurs : leurs diamètres augmentent ou diminuent de l'une à l'autre d'une quantité constante, et forment une progression par différence en plus ou en moins, dont la raison est la même pour la poulie poire motrice que pour celle qui la commande.

Il en résulte qu'une même longueur de courroie suffit pour envelopper deux à deux les poulies qui se correspondent dans chaque poire ; et qu'on économise le temps nécessaire, dans tout autre système, pour allonger ou raccourcir la courroie suivant le changement de roue donnant la vitesse voulue.

Les poulies poires donnent autant de vitesses différentes, qu'il y a d'éléments dans leur composition.

Dans un atelier bien organisé toutes les roues motrices (fig. 10, planche XXIV) sont en fonte et se composent d'une circonférence, de rayons (courbes pour éviter leur rupture lors de la contraction par le refroidissement après la coulée) et d'un moyeu, le tout coulé d'une seulepièce.

Les poulies poires sont également en fonte, formées d'une enveloppe ou poire proprement dite, et de deux couvercles ou plateaux aux extrémités.

On obtient la légèreté et la solidité réunies en coulant avec de minces épaisseurs et renforçant le métal par des nervures ou arêtes saillantes.

On emploie quelquefois des systèmes plus compliqués pour obtenir des vitesses extrêmes et principalement des mouvements très-lents, pour tourner les objets d'un grand diamètre. Ces systèmes

consistent ordinairement en une certaine combinaison de poulies poires et de roues à engrenages. Les tours ainsi composés se nomment *tours à poulies poires et à engrenages.*

ARTICLE VIII.

BANC DU TOUR.

Le banc est l'appareil qui sert d'appui au tour et aux outils ou machines dont le tourneur fait usage.

Le banc est composé de *deux longs côtés*, les *jumelles*, *en bois* ou, ce qui est préférable, en fonte, assemblés par des traverses. Il doit posséder une grande rigidité et beaucoup de stabilité, pour éviter les vibrations que l'action de l'outil ou des courroies tend à produire. Il convient donc de donner de fortes épaisseurs aux longs côtés du banc et de les relier par de forts boulons à écrou à une fondation en pierres de taille.

Les deux longs côtés du banc doivent être parallèles, horizontaux et écartés de la largeur des *talons* ou saillies sous la semelle de la poupée.

La table ou partie supérieure du banc doit être dressée et offrir une base suffisante d'appui à la semelle de la poupée.

La hauteur du banc doit permettre au tourneur de tenir et de diriger facilement ses outils : environ 1^m depuis l'axe du tour jusqu'au sol.

On recouvre la table du banc s'il est en bois, vers ses bords intérieurs et extérieurs de plaques ou tringles plates en fer, pour le protéger contre l'usure : c'est sur ces plaques que reposent les semelles des poupées et autres appareils du tour.

ARTICLE IX.

DU TOUR A DEUX POINTES.

Planche XXIV.

Le tour à deux pointes (fig. 2) est celui dans lequel l'objet à tourner est fixé par les deux extrémités. Il se compose d'un banc et de deux poupées, dont *l'une à pointe fixe*, et l'autre à *pointe mobile*. Le nom de poupée s'applique non-seulement au support ou poupée proprement dite, mais encore à tous les accessoires qui en dépendent.

La *poupée à pointe fixe A B* (fig. 2) est semblable au *tour à plate-forme et à pointe*, mais on peut se passer de la plate-forme, quoiqu'elle soit fort utile.

La *poupée à pointe mobile C D* (fig. 2) comprend la poupée ou support, et un arbre cylindrique en fer forgé, mobile sur son axe et terminé par une pointe conique en acier trempé.

Les deux poupées sont fixées sur le banc de tour à une distance convenable l'une de l'autre. L'objet à tourner est d'abord centré; c'est-à-dire marqué d'un coup de pointeau aux deux extrémités sur l'axe de rotation. Les cavités formées par le coup de pointeau sont ensuite assez approfondies pour recevoir les pointes du tour entre lesquelles l'objet doit être suspendu. On resserre ensuite convenablement l'objet entre les deux pointes en fesant avancer la pointe mobile vers la pointe fixe.

Pour entraîner ensuite l'objet dans le mouvement de rotation de l'arbre du tour, on fixe sur le bout libre de cet arbre une griffe avec laquelle on accroche une partie saillante de l'objet. Très souvent celui-ci ne présente pas de saillie convenable ; on y supplée, ordinairement au moyen du *doguin* (fig. 15), pièce de fer, percée d'une ouverture ovoïde *a b* vers l'une de ses extrémités, dans laquelle on fait entrer l'axe de l'objet, et que l'on fixe sur cet axe à l'aide de la vis de pression *c*.

La pointe mobile est soutenue par sa poupée entre deux paires de coussinets, ainsi que l'arbre du tour à pointe fixe. Le moyen le plus simple et le plus usité pour faire mouvoir la pointe mobile suivant son axe consiste à fileter la partie *a b* (fig. 2) opposée à la pointe et à convertir en écrou la paire de coussinets qu'elle traverse.

Le banc du tour doit avoir la longueur nécessaire pour le placement des deux poupées et de l'objet à tourner : du reste, il ne diffère en rien d'un banc pour tour en l'air.

Le tour à deux pointes doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° L'arbre de la poupée à pointe fixe doit tourner autour d'un axe invariable, et être exempt de tout ballottement ou glissement.

2° Les axes des arbres à pointe fixe et à pointe mobile doivent être horizontaux, parallèles à la longueur du banc et dans le prolongement l'un de l'autre.

3° L'arbre à pointe mobile doit se mouvoir parallèlement à lui-même afin que la seconde condition soit toujours remplie.

4° Tout le système doit posséder la solidité et la stabilité nécessaires pour ne pas fléchir ni vibrer dans le travail.

Les dimensions et le poids des diverses parties du tour doivent être mis en rapport avec le poids des objets à tourner et avec les

efforts à exercer dans le travail ; de manière à diminuer les résistances nuisibles.

Lorsque l'objet à façonner doit être percé suivant son axe, ou que son poids est considérable, il ne peut plus être maintenu entre deux pointes ; on substitue alors une *poupée à lunettes* à celle à pointe mobile, et l'objet est fixé sur le tour à la manière des canons sur le banc de forerie.

Les pointes coniques en usage dans les tours ont l'inconvénient d'occasionner des décompositions de forces, les unes qui agissent perpendiculairement à l'axe du tour et les autres qui s'exercent parallèlement à cet axe, tendent à faire fléchir les montants de la poupée et à écarter les appuis de l'objet à tourner. On évite ces décompositions de force pour des objets très-pesants en les suspendant, à la manière des canons, par une lunette engagée sous une portée et par une broche cylindrique, remplaçant la pointe fixe et engagée dans un trou de portée.

L'objet à façonner doit avoir une gorge s'emboîtant parfaitement avec la lunette.

On est quelquefois obligé d'employer plusieurs lunettes intermédiaires : c'est ce qui arrive lorsque la longueur de l'objet fait craindre qu'il ne fléchisse dans le travail.

(Figure 2) Élévation d'un tour à deux pointes et à plate-forme avec poulie poire.

(Figure 3). Vue de côté du tour à deux pointes.

E F (fig. 2.). Banc, solidement établi sur des traverses en bois relié à une fondation en pierres de taille.

A B Poupée à pointe fixe : munie d'une *poulie poire*, et d'une plate-forme.

C D Poupée à pointe mobile.

r s (fig. 4). Poulie poire maîtresse.

CHAPITRE II.

TOURNAGE AU CROCHET DE TOUR.

ARTICLE I.

DIVISION GÉNÉRALE DES OUTILS POUR LE TOURNAGE DU FER ET DU BRONZE.

Les outils employés au tournage des métaux, forment deux catégories, les *crochets de tour* et les *burins à support fixe*.

Les crochets de tour sont des outils recourbés en acier *tenus et*

dirigés à la main, avec lesquels on enlève lors du tournage les parties excédantes de métal. (fig. 2, planche XXV).

Les *burins*, *lames* ou *couteaux à support fixe*, sont des outils également en acier, adaptés à un mécanisme solide, nommé *support fixe*, à l'aide duquel on les fait agir sur l'objet à tourner. (Fig. 3, planche XXVII).

ARTICLE II.

CROCHETS DE TOUR.

Planche XXV.

Les crochets de tour sont des lames en acier, recourbées et tranchantes à une extrémité, amincies à la partie opposée, la *tige*, qui s'engage dans un manche en bois.

Le coude formé par la rencontre de la partie recourbée avec la tige se nomme *le talon*.

Le talon sert à appuyer le crochet contre une table en bois lors du travail. Il est pourvu de barbes ou encoches qui pénètrent dans le bois et empêchent l'outil de glisser.

Figures 3, 4, 5 et 6 Crochets de tour.

a b (fig. 5) Tige du crochet.

c Talon.

c k Barbes ou encoches.

d Tranchant.

a e Manche en bois.

f g Virole en fer ou en cuivre.

Les crochets de tourneur sont de deux espèces, ceux *à dégrossir* ou *à ébaucher*, et ceux *à polir*. Les crochets dégrossisseurs sont exposés à de grands efforts parce qu'ils doivent prendre beaucoup de métal à la fois ; il faut donc en arrondir l'arête tranchante pour éviter les angles qui sont sujets à s'égréner et à se détremper.

Le tourneur en ébauchant l'objet, creuse à sa surface une suite de sillons plus ou moins rapprochés et profonds. Il fait ensuite disparaître les arêtes vives formées par leurs intersections en recommençant le travail avec le crochet à polir ou *plane* (fig. 6), dont le tranchant est en ligne droite ou présente vers ses extrémités une courbure peu prononcée.

Il faut avancer lentement la plane le long de la génératrice de la surface de révolution pendant la rotation de l'objet, pour faire disparaître peu à peu les inégalités de la surface et pour lui donner les dimensions voulues.

Les crochets à dégrossir, ou crochets proprement dits, affectent plusieurs formes, selon l'espèce de travail qu'ils doivent exécuter.

Fig. 3. Crochet à pointe ronde.

Fig. 4. Crochet en grain d'orge dont le tranchant aminci sert à pénétrer dans les parties rentrantes.

Fig. 5. Petite plane.

Fig. 6. Grande plane.

Indépendamment de ces crochets, il y en a d'autres qui sont contournés suivant les circonstances : tel est, par exemple, le crochet de côté dont le nom indique la forme et l'usage.

ARTICLE III.

DES SUPPORTS ORDINAIRES.

La main seule de l'homme ne peut suffire pour faire mordre les crochets, il faut qu'ils soient soutenus par un appui assez solide pour résister à la pression exercée sur le tranchant.

L'appareil qui sert d'appui se nomme *support*. Il y en a de plusieurs formes.

Le *support ordinaire* se compose :

1° *D'une semelle* en fonte qui se fixe sur le banc de tour.

2° *D'une chaise* également en fonte, assemblée avec la semelle.

3° *D'un plateau vertical* ou *support en bois*, relié à la chaise, présentant sur le bord supérieur, une partie plane servant d'appui au crochet avec un épaulement en arrière pour l'empêcher de céder à la pression produite dans le travail.

Ces diverses pièces sont reliées entre elles ou avec le banc par des boulons à écrou et à tête carrée ou à marteau.

La semelle est une plaque d'une longueur proportionnée à la largeur du banc, percée d'une fente ou rainure dans le sens de sa longueur pour donner passage à un boulon à T et à écrou, fixant la semelle sur le banc du tour.

La chaise est un support ayant deux faces en équerre, l'une d'elles est perpendiculaire à la semelle et sert d'appui au support en bois, placé verticalement vis à vis de l'objet à tourner. Chacune des faces de la chaise est percée d'un trou pour le passage d'un boulon, reliant la chaise soit avec la semelle, soit avec le support en bois.

Le support en bois est un morceau de madrier en bois dur et résistant, avec le fil debout, entaillé vers le haut parallèlement au

bord supérieur, de manière à offrir un épaulement en arrière d'une table étroite sur laquelle on appuie le talon du crochet.

Cet épaulement est quelquefois formé par une tringle de bois clouée à la partie supérieure du plateau vers le bord opposé à l'objet à tourner.

Figures 11, 12 et 13, (planche XXIV) support ordinaire.

a b Semelle en fonte.

c d e (fig. 13) Chaise en fonte.

f g (fig. 11, 12 et 13) Plateau ou support en bois.

h i Boulon à marteau fixant le support en bois à la chaise.

k l (fig. 13) Boulon à tête polygonale reliant la chaise à la semelle et lui servant de pivot, ce qui permet de faire prendre à la chaise diverses positions relativement à la semelle.

m g Table ou appui du crochet.

n g Epaulement en arrière de la table, empêchant l'outil de reculer devant le métal qu'il entame.

Le support ordinaire doit satisfaire à trois conditions :

1° Être assez solide pour ne pas fléchir ni vibrer dans le travail : à cet effet on le construit en fonte avec des dimensions suffisantes tant en largeur qu'en épaisseur.

2° Pouvoir prendre diverses positions sur le banc de tour, de sorte que la table soit placée très-près de l'objet à tourner sans le toucher et parallèlement à la surface à enlever.

La rainure percée dans la semelle permet à celle-ci un double mouvement de glissement et de rotation sur le boulon à marteau traversant le milieu du banc : tandis que la chaise elle-même peut prendre diverses positions sur la semelle.

3° La table doit être assez élevée pour que le tranchant du crochet, qui s'appuie dessus, soit à la hauteur de l'axe de rotation de l'objet à tourner.

ARTICLE IV.

TRAVAIL AU CROCHET DE TOUR.

Le tourneur tient son outil devant l'objet le manche élevé (fig. 2, planche XXV) et appuyé sur l'épaule, le talon reposant sur la table et le tranchant à la hauteur de l'axe de rotation. .

Soient :

q r Verticale élevée par le point d'appui du talon.

p q Perpendiculaire à *q r*, passant par le point de contact du

crochet avec l'objet à tourner : ce sera le bras de levier de la résistance R.

rs Perpendiculaire sur qr, passant par s, point d'appui du tourneur sur le manche de l'outil : ce sera le bras du levier de la puissance P, supposée agir verticalement, comme le poids de l'homme.

Le crochet étant en équilibre, les forces sont en raison inverse de leurs bras de levier et l'on a la proportion :

$$P : R = pq : rs, \text{ d'où}$$

$$P = R \cdot \frac{pq}{rs}.$$

Or la valeur de $\frac{pq}{rs}$ est généralement moindre que $\frac{1}{30}$, d'où il résulte que le crochet de tourneur est un outil très-avantageux pour l'emploi des forces de l'homme.

Lorsque le tourneur commence le travail, il place son crochet (fig. 8, planche XXV), appuyé contre l'épaulement de du support en bois, de sorte que le tranchant $a'\ b'$ vienne en dessous du rayon horizontal ca de l'objet à tourner : il agit ensuite sur le manche de l'outil pour relever le tranchant jusqu'à ce qu'il prenne la position ab dans le prolongement du rayon ca. La partie af mesure alors l'épaisseur de métal enlevée.

L'objet ayant fait un tour entier, l'ouvrier fait occuper une nouvelle position au tranchant de l'outil et creuse un nouveau sillon à côté du premier et ainsi de suite. Le déplacement se fait de deux manières.

1° En posant l'outil parallèlement à lui-même à côté de sa première place, et à une distance à peu près égale à la largeur du sillon.

Lorsque les sillons sont larges et profonds, comme dans le dégrossissage des bouches à feu au crochet de tour, les déplacements ne se répètent pas trop souvent et ne donnent lieu qu'à des pertes de temps du reste inévitables.

2° Lorsque le métal n'est pas trop dur ou que la couche à enlever est de faible épaisseur, on peut éviter de trop fréquents déplacements de l'outil. A cet effet on présente le tranchant obliquement à la surface de l'objet, et à mesure qu'il enlève du métal, après chaque tour accompli, on fait pivoter le crochet sur l'axe du manche, de manière que le tranchant décrive un mouvement circu-

laire, qui lui fait creuser en plusieurs tours un sillon peu profond mais très-large.

Le tourneur a d'ailleurs la faculté, en élevant ou abaissant le manche du crochet, en même temps qu'il le fait pivoter sur son axe, d'entamer plus ou moins profondément le métal, de manière à régler l'épaisseur de la couche enlevée.

Soient sur une projection horizontale *M N* (fig. 9, planche XXV).

e f La surface de l'objet.

g h La table du support en bois.

h i L'épaulement en arrière de la table.

Le tourneur place le crochet *b c'* dans une position oblique relativement à *e f*, puis, tout en enlevant du métal pendant que l'objet tourne sur son axe, il fait pivoter lentement le crochet autour de *b*, point d'appui contre l'épaulement. Dans ce mouvement le tranchant vient successivement occuper les positions *c'*, *c* et *c''*, sur la courbe *c' c c''*, creuse un sillon de même largeur, dont la profondeur maximun *c a* est prise sur le crochet *b c*, au moment où il a cessé de mordre obliquement à la surface *e f*.

Cette seconde manière d'engager l'outil est plus fatigante que la première, aussi ne l'emploie-t-on que dans les circonstances que nous venons d'indiquer et dans lesquelles les efforts à exercer sont modérés.

CHAPITRE III.

TOURNAGE AU SUPPORT FIXE.

ARTICLE I.

VUES GÉNÉRALES. — DIVISION DES SUPPORTS FIXES EN SUPPORTS A GLISSIÈRES ET EN SUPPORTS A CHARIOTS.

Dans le tournage au support fixe le burin est dirigé par un mécanisme ayant un double mouvement, l'un de rapprochement ou d'éloignement de l'objet à tourner et l'autre de translation. Cette combinaison permet de faire parcourir au tranchant la courbe génératrice de la surface de révolution. Le support fixe procure à l'outil beaucoup de stabilité tout en augmentant considérablement son action.

Les burins sont adaptés à des boîtes coulantes, ordinairement mises en mouvement par des vis de pression et de rappel. Leur emploi exige moins d'habileté manuelle qu'avec le crochet de tour.

Un *ajusteur* attentif, ayant le sentiment des formes et sachant mesurer avec précision, peut, bien souvent, remplacer le tourneur dans le travail au support fixe, dont l'usage se généralise chaque jour davantage.

Les supports fixes sont de deux espèces : ceux à doubles glissières (avec ou sans pivot) appelés par abréviation *supports à glissières*, et les chariots de tour. Le mouvement de translation est plus grand avec le chariot de tour, et c'est ce qui le distingue du support à glissières. Ces appareils diffèrent de formes et de dimensions : nous nous en occuperons successivement.

ARTICLE II.

SUPPORTS A GLISSIÈRES.

(Fig. 1, 2, 3 et 4, planche XXVI).

Un bon support à glissières est aussi à pivot : il se compose d'une glissière supérieure porte-outil, d'une boîte à coulisses supérieures et inférieures de directions perpendiculaires entre elles, d'une glissière inférieure surmontant un pivot qui fait corps avec elle, et enfin d'une semelle à colonne creuse. Des vis de pression et de rappel permettent de faire mouvoir la glissière supérieure porte-outil sur la boîte à coulisses, et celle-ci sur la glissière inférieure, ce qui procure deux mouvements perpendiculaires entre eux.

Le pivot de la glissière inférieure est reçu dans la colonne creuse située à une extrémité de la semelle, ce qui permet de varier dans un plan horizontal les inclinaisons des glissières relativement à l'axe du tour. Une ou deux vis de pression empêchent le pivot de tourner dans la colonne creuse et de céder aux efforts exercés sur l'outil, tandis que des boulons à écrou, traversant la rainure qui règne au milieu de la semelle, relient celle-ci au banc du tour, et procurent à l'appareil la fixité nécessaire.

(Fig. 1 planche 26). Plan du support.

Fig. 4. Élévation.

Fig. 3. Vue du côté de la semelle.

Fig. 2. Vue du côté opposé à la semelle.

a b Fig. 1, 2 et 3,
a' b' Fig. 4. } Glissière supérieure porte-outil.

c, *d*, *e*, *f*. Mêmes figures. Mortaises ou chapelles percées sur les quatre faces de quatre masses de fonte ou de bronze qui se cor-

respondent deux à deux, destinées à recevoir le burin et à le fixer au moyen de vis de pression.

Les chapelles permettent d'assujettir le burin soit à l'extrémité de la glissière dans le sens de sa longueur, soit sur le côté dans une direction perpendiculaire.

Les chapelles sont reliées entre elles par des côtes ou saillies sur la surface de la glissière, ce qui en augmente la rigidité. Tout l'appareil doit être coulé en fonte et d'une pièce.

p q (Mêmes figures). Boîte à coulisses supérieures et inférieures.

r s (Mêmes figures). Glissière inférieure.

t u (fig. 2, 3 et 4). Pivot cylindrique coulé d'une seule pièce avec la glissière inférieure.

Dans le travail le pivot doit entrer tout entier dans la colonne creuse, afin que la glissière inférieure *r s* appuie sur le bord supérieur de la colonne.

m n (fig. 1, 2, 3 et 4). Semelle en fonte, coulée d'une seule pièce avec la colonne creuse.

v x (fig. 2, 3 et 4). Colonne creuse à l'extrémité de la semelle, supportant le système au moyen du pivot qui fait corps avec la glissière inférieure.

k l (fig. 1 et 3). Rainure pratiquée dans la semelle pour le passage d'un boulon qui assemble le système avec le banc du tour.

a g (fig. 1, 2, 3 et 4). Vis de pression et de rappel à manivelle mobile, fesant mouvoir la glissière porte-outil sur la boîte à coulisses.

h i (fig. 1, 2 et 4). Vis de pression et de rappel, fesant mouvoir la boîte à coulisses sur la glissière inférieure.

y (fig. 2 et 3). Vis de pression, empêchant le pivot de tourner dans la colonne creuse.

La colonne creuse doit être parfaitement alésée, perpendiculaire au plan de la semelle, et s'ajuster à frottement doux avec le pivot cylindrique.

Le bord supérieur de la colonne creuse, la *table*, doit être bien dressé, dans un plan perpendiculaire à l'axe de la colonne.

Les glissières et les coulisses doivent être bien dressées et s'emboîter parfaitement.

Les mouvements de la glissière supérieure et de la boîte à coulisses doivent se faire dans des directions perpendiculaires entre elles et à l'axe du pivot. La colonne doit être assez élevée pour que le

burin arrive devant l'objet à tourner à la hauteur de l'axe de rotation.

Les dimensions doivent être suffisantes pour procurer à l'appareil la solidité et la stabilité nécessaires.

ARTICLE III.

GÉNÉRALITÉS SUR LES CHARIOTS DE TOUR.

Le nom de tour à chariot s'applique à l'ensemble d'un tour à une ou deux pointes et d'un système, le chariot de tour formé d'un chariot porte-outil et d'un chemin conducteur de ce chariot.

Le chariot de tour affecte plusieurs formes, dont la plus simple consiste dans un chariot ou massif en fonte ou en bronze, muni à la partie supérieure d'une boîte coulante porte-outil et à la partie inférieure de coulisses perpendiculaires à la direction de cette boîte et emboîtant un chemin de fer, lequel peut être assemblé sur une plaque de fonte ou former les bords supérieurs d'une caisse.

Le double mouvement de translation sur le chemin de fer et de rapprochement ou d'éloignement du burin vers l'objet à tourner, est produit par des vis conductrices ou par des engrenages à crémaillère servant à faire glisser le chariot sur le chemin de fer et la boîte coulante sur le chariot.

Avec ce système, la courbe génératrice de la surface de révolution est semblable à la directrice du chemin de fer. On aura un cylindre, si le chemin de fer est en ligne droite et parallèle à l'axe de rotation : supposons, outre ce parallélisme, que le mouvement de rotation de la vis conductrice et celui de l'objet à tourner soient dans un certain rapport ; dans cette hypothèse, le chariot glissera sur le chemin de fer d'une quantité constante à chaque révolution de l'objet, le burin creusera une hélice à sa surface, et on aura un appareil à faire des vis.

Le système est plus parfait lorsque le chariot proprement dit, ou la plaque de fonte glissant sur le chemin de fer est assemblée avec un support à glissières, parce qu'on peut alors donner au burin des directions plus variées.

Il est important de pouvoir changer les inclinaisons du chemin de fer relativement à l'axe du tour, de manière à former des surfaces cylindriques ou coniques. Ces avantages sont réalisés dans les appareils à tourner les bouches à feu.

Quand les chariots de tour sont destinés à produire de grands efforts, on soutient les burins vers le tranchant au moyen d'un appui en fonte, la *table* ou le *support*, placé solidement près de l'objet et le contournant.

Les chariots de tour doivent avoir une grande stabilité : à cet effet on donne de fortes dimensions aux pièces qui les composent, ce qui leur donne plus de poids et en augmente l'inertie.

ARTICLE IV.

BURINS POUR LE TOURNAGE AU SUPPORT FIXE.

Les *burins*, *lames* ou *couteaux*, sont des outils prismatiques en acier, qu'on fixe solidement à la glissière supérieure du support à glissières ou à la boîte coulante du chariot de tour, et dont on présente le tranchant vers l'objet à tourner. La forme du tranchant varie, suivant la nature du travail, selon qu'il s'agit de dégrossir ou de polir, ou suivant la courbure de la surface à façonner.

Les burins dégrossisseurs, devant prendre beaucoup de métal à la fois, doivent être très-épais pour ne pas se briser, s'égréner ou se détremper. A cet effet, on arrondit leurs tranchants pour éviter les angles qui s'égrènent ou se détrempent facilement, et l'on forme le tranchant sur le côté du prisme qui se présente ainsi de *champ*, suivant la position de plus grande résistance.

L'angle du taillant est formé par la rencontre des deux surfaces, dont l'intersection constitue *l'arête tranchante*. L'angle du taillant doit être d'autant plus ouvert que le métal est plus dur, que la couche de matière enlevée à chaque tour est plus épaisse et que la surface de l'objet brut est plus imprégnée de sable ou de silice provenant du moule dans lequel l'objet à tourner a été coulé. En général l'angle du taillant est de 70° à 80° pour la fonte à canon et de 50° à 70° pour la fonte douce, le cuivre et le bronze.

Le tranchant est même souvent creusé en gouttière pour la fonte douce, le cuivre, le bronze et le fer forgé.

La forme de la surface à obtenir influe nécessairement sur la forme du burin.

Le *burin à pointe fine* sert à pénétrer dans les parties rentrantes.

Les *couteaux à polir* ou *planes* ont une arête tranchante en ligne droite, quelquefois légèrement recourbée aux extrémités.

Les couteaux sont à pointe droite ou à pointe recourbée : ces derniers sont destinés à mordre de côté.

Le plus souvent il y a deux tranchants, un à chaque extrémité d'une barre d'acier , pour éviter l'inconvénient d'un outillage trop nombreux.

L'arête tranchante est quelquefois contournée suivant le profil de la moulure à obtenir ou suivant la courbe génératrice de certaines surfaces difficiles à former. Le travail du tourneur en est singulièrement abrégé , tant que l'outil se conserve intact. Mais, en général, ces sortes de burins présentent plus d'inconvénients que d'avantages par la difficulté de leur ajustage et de leur entretien , et par leur prompte détérioration , ce qui occasionne de fréquentes interruptions de travail.

En principe les procédés les plus économiques sont ceux qui assurent la conservation de l'outil et qui rendent leur réparation facile. Aussi préfère-t-on fort souvent d'ébaucher une moulure avec le burin au support fixe , pour l'achever ensuite au crochet de tour , en lui donnant pour appui un support de circonstance adapté au chariot de tour ou un support à glissières.

Des burins épais , ayant peu de saillie sur la glissière ou sur le chariot de tour, et soutenus très-près du tranchant par une table métallique , sont moins exposés à fléchir ou à vibrer dans le travail ; ils se détrempent moins facilement, se conservent généralement mieux et font plus de besogne.

(Fig. 6 , planche XXVI). Burin à pointe ronde.

(Fig. 5). Burin à taillant fin.

(Fig. 7). Burin mordant sur le côté gauche.

(Fig. 9). Burin mordant sur le côté droit.

(Fig. 10). Burin recourbé pour tourner une surface difficile à atteindre.

(Fig. 8). Couteau pour tourner une astragale.

ARTICLE V.

TRAVAIL DU BURIN A SUPPORT FIXE.

La solidité et la stabilité sont des conditions essentielles dans le tournage au support fixe : mais on n'obtient ces conditions que dans de certaines limites.

Les supports à glissières, devant être fréquemment déplacés, ces-

seraient d'être maniables en devenant trop pesants. Les chariots de tour étant généralement à demeure, on peut leur donner plus de solidité et de stabilité qu'aux supports à glissières : mais on est souvent forcé de limiter leurs dimensions par l'espace disponible dans l'atelier, par l'argent qu'on peut placer dans l'acquisition, par la puissance du moteur, etc. Il en résulte qu'on n'a que des appareils susceptibles d'efforts limités, qu'on ne saurait dépasser sans compromettre leur résistance ou sans produire des vibrations nuisibles au travail.

Il faut proportionner les dimensions des appareils à support fixe à celles des objets à tourner, et à la dureté de la matière qui les compose. C'est ainsi que, pour tourner les canons, il faut des supports à glissières ou des chariots de tour bien plus solides que quand il s'agit simplement de boulons pour chapes de roulette.

On ne peut donc indiquer d'une manière absolue la quantité dont les burins doivent être engagés dans le travail ; mais cette quantité dépend de la stabilité du support, de la dureté de la matière, de l'inertie de l'objet, de la vitesse de rotation et de la nature de l'opération, s'il s'agit de dégrossir ou de polir.

L'objet étant bien fixé sur le tour, l'ouvrier présente son outil, le tranchant à la hauteur de l'axe de rotation, et le fait avancer peu à peu vers l'objet, enlevant successivement les aspérités et inégalités de la surface.

Il a soin de ne pas trop engager le burin dans le commencement, mais d'attendre au contraire que le métal soit blanchi sur tout le pourtour de la surface.

Après avoir approfondi le sillon d'une certaine quantité en un ou plusieurs tours, il fait mordre le burin de côté en suivant la courbe génératrice de la surface de révolution à obtenir.

La surface de l'objet est souvent formée par une croûte de métal imprégnée de sable provenant de la matière du moule. Cette croûte est fort dure et difficile à enlever, parce qu'elle use les outils à la manière d'une meule à aiguiser. Tant qu'elle n'a pas disparu, l'ouvrier doit agir avec précaution, évitant de trop engager son burin, qui s'émousse à chaque instant. Quand la croûte est détachée, on dit que l'objet est *décapé*, et le tourneur peut alors entamer plus franchement le métal.

Dans un travail ordinaire l'épaisseur de la couche enlevée au support à glissières est de $0^m,002$ à $0^m,003$; elle peut aller jusqu'à $0^m,005$ avec le chariot de tour ; mais il faut alors que l'objet

soit très-pesant pour que sa force d'inertie empêche les vibrations.

Dès que le sillon a la profondeur voulue, on fait mordre le burin de côté, en le faisant marcher à chaque tour d'une quantité variant entre $0^m,0005$ et $0^m,0007$.

La vitesse moyenne, avec laquelle le métal doit se présenter devant le tranchant, est d'environ $3^m,50$ par minute pour la fonte, et 2 ou 3 fois aussi rapide pour le bronze. Ces vitesses sont souvent dépassées; cela dépend du degré de dureté du métal et de plusieurs autres circonstances.

Lorsqu'il s'agit de tourner des surfaces cylindriques ou coniques, il faut placer le support à glissières ou le chariot de tour, parallèlement à la génératrice horizontale de la surface de révolution, et vérifier si ces appareils ont exactement la position voulue.

On creuse sur l'objet, aux extrémités de la surface cylindrique ou conique, deux gorges ou sillons ayant leurs diamètres aux dimensions prescrites, ou excédant ces dimensions d'une même quantité : ce qui donne deux cercles dont les intersections avec un plan horizontal passant par l'axe de rotation, sont sur une droite parallèle à cette génératrice. On vérifie, à l'aide du compas ou d'une mesure, si l'appareil est placé à égales distances des deux cercles, et l'on tourne ensuite une partie de la surface en fesant mordre le burin de côté et sans toucher à la vis de rappel : il faut avoir soin de laisser encore du métal à prendre afin de pouvoir remédier à une mauvaise direction. Cette partie de surface étant tournée, on en prend les diamètres extrêmes avec le compas courbe; ces diamètres doivent être égaux s'il s'agit d'un cylindre, leurs différences doivent correspondre à l'inclinaison de la génératrice sur l'axe de rotation, s'il s'agit d'un cône.

Le dégrossissage se fait ordinairement en deux fois, ce qui permet de corriger les inégalités de diamètre, qu'on rencontre parfois dans une même section droite de l'objet. La résistance éprouvée par l'outil, variant suivant la quantité de métal enlevé, fait fléchir plus ou moins le support et produit les inégalités remarquées.

Le polissage des surfaces se fait aussi en deux fois avec le burin à planer. L'épaisseur de la couche enlevée à chaque fois varie de $\frac{1}{4}^{mm}$ à $\frac{1}{2}^{mm}$; la vitesse de rotation est le double de celle relative au dégrossissage.

Les supports à glissières et les chariots de tour à génératrices rectilignes ne peuvent polir que les surfaces cylindriques, coniques ou planes. Cependant on emploie avantageusement ces appa-

4

reils pour dégrossir d'autres surfaces, qu'on polit ensuite au crochet de tour, appuyé sur des supports en bois contournés suivant la forme des objets à façonner ; ces supports sont d'ailleurs fixés près de ces objets en profitant des facilités qu'offrent les circonstances.

CHAPITRE IV.

TOURNAGE DES BOUCHES A FEU.

ARTICLE I.

OBJET DU TOURNAGE.— BOUCHES A FEU ET PARTIES DES BOUCHES A FEU QUI DOIVENT ÊTRE TOURNÉES.

Objet du tournage des bouches à feu.

La forme extérieure des bouches à feu étant composée de surfaces de révolution, *le tournage a pour objet de donner à ces surfaces la netteté désirable et l'exactitude prescrite des dimensions ; lorsque cette netteté et cette exactitude n'ont pu être obtenues dans le coulage.*

Pour déterminer les cas où il y a lieu de tourner, il faut donc examiner :

1° Quelles sont les bouches à feu, dont les surfaces ne peuvent être obtenues avec la netteté désirable.

2° Quelles sont les parties des bouches à feu, qui doivent avoir la plus grande exactitude dans les dimensions.

Les pièces moulées en terre doivent être tournées, excepté les très-petits calibres.

La surface d'une bouche à feu ne peut avoir la netteté voulue, si le moule est susceptible de se déformer pendant sa confection, ou après par la pression exercée lors du remplissage, par l'infiltration du métal liquide dans la chape, ou lors de la solidification du métal.

Les dimensions des moules en terre s'altèrent toujours un peu pendant leur confection, lors de la sortie des débris du modèle ; dans le séchage, par le poids de la partie supérieure qui tend à agrandir les diamètres horizontaux aux dépens de ceux verticaux (les moules sont séchés dans la position horizontale) ce qui donne aux sections droites de la pièce une forme elliptique.

On y remédierait en séchant le moule dans la position verticale, mais il faudrait des étuves très-élevées.

Les moules en terre cèdent inégalement à la pression produite dans le remplissage: 1° parce que le tassement du sable, lors de l'enterrage du moule, ne peut être fait assez régulièrement ; 2° parce que la pièce n'est pas un corps régulier de révolution, mais présente au contraire le plus de masse dans le sens des tourillons, il en résulte une inégalité dans la pression du métal et dans sa contraction après le refroidissement, d'où la forme elliptique observée.

Toutefois ces défauts sont considérablement atténués pour les pièces de fonte d'un très-petit calibre, et ne dépassent pas les limites admissibles dans la pratique.

On peut donc dire que *toutes les pièces moulées en terre, à l'exception de celles de fonte d'un très-petit calibre, n'ont pas une surface suffisamment régulière après le dépouillement, et qu'elles doivent être tournées.*

Les pièces de bronze doivent être tournées.

Lors de la coulée, le bronze liquide pénètre dans la chape, sous forme de filaments très-minces adhérant au corps de la pièce ; et celle-ci, après le dépouillement, a sa surface couverte d'aspérités et d'inégalités. *Donc les pièces de bronze n'ont pas une surface assez nette après le dépouillement, et doivent être tournées.*

Cependant dans certaines circonstances, et par des soins exceptionnels, on est parvenu à couler des pièces de bronze de petit calibre, dont la surface était suffisamment régulière après le démoulage. Mais, tout en admettant que ce résultat indique une possibilité d'améliorer le moulage des pièces de bronze, et de diminuer l'infiltration du métal dans la chape, les moyens d'y parvenir ne sont pas encore devenus pratiques.

Les pièces en fonte moulées en sable ne doivent pas être tournées, excepté celles d'un très-gros calibre fabriquées par le moulage mixte.

Les pièces de fonte moulées en sable, ont seules une surface assez nette pour ne pas devoir être tournées. Les moules en sable sont assez consistants pour ne pas se déformer sensiblement lors de la coulée, et l'infiltration du métal est nulle, quoique fort souvent la croûte de sable, qui recouvre la pièce, soit attirable à l'aimant, ou fasse seulement dévier l'aiguille aimantée.

Il est bien vrai, que cette action sur l'aimant semble indiquer

un passage du fer dans le moule par sublimation, ou à l'état liquide en filaments imperceptibles : mais l'infiltration, si elle existe, se fait en une quantité inappréciable.

Si l'on peut admettre en principe, que les pièces en fonte moulées en sable dépouillent assez bien pour n'avoir pas besoin d'être tournées; cependant il faut faire une exception *pour celles de très-gros calibre obtenues par le moulage mixte*, à cause des *serres* et *ondulations* auxquelles ces pièces sont exposées, et qui proviennent de ce que le tassement du sable ne peut être opéré aussi uniformément sur un modèle en terre plus ou moins compressible que sur un modèle en métal, dont la forme est invariable. Aussi est-on obligé, pour ne pas avoir des pièces d'une surface inégale et disgracieuse, *de tourner les pièces en fonte de gros calibres coulées par le moulage mixte.*

Parties de la surface de révolution des bouches à feu, auxquelles la plus grande exactitude dans les dimensions est nécessaire, et qui doivent par conséquent être tournées.

De petites aspérités ou irrégularités à la surface, ne peuvent avoir d'influence sensible sur la résistance des bouches à feu, et ne sont pas nuisibles dans le service ; mais il n'en est pas de même pour les parties qui servent au pointage. Ces parties doivent avoir rigoureusement les dimensions prescrites, *afin que l'angle de mire naturel qui en dépend, soit précisément celui des tables.* Il est donc nécessaire *que la plate-bande de culasse et le bourrelet soient tournés à toutes les bouches à feu.*

Récapitulation des opérations de tournage à exécuter sur la surface de révolution des bouches à feu.

Les bouches à feu qui doivent être tournées entièrement, sont :

Les pièces de bronze.

Les pièces moulées en terre (excepté celles de très-petits calibres).

Les pièces de fonte de très-gros calibres moulées en sable par le moulage mixte.

Toutes les autres bouches à feu doivent avoir au moins la plate-bande de culasse et le bourrelet façonnés sur le tour. Cependant, on s'écarte de cette règle, quand le pointage se fait sur les parties

saillantes du corps de la pièce telles que les visières ou les masses de mire, qui empêchent l'action du tour.

S'il est admis qu'à la culasse et aux renforts, les parties saillantes ne peuvent être des pièces de rapport, pour ne pas affaiblir la bouche à feu par les entailles nécessaires pour leur ajustement, il n'en est pas de même pour le renflement du bourrelet. Dans tous les cas, les bourrelets sont tournés, et on y adapte ensuite les visières que le tracé exige.

ARTICLE II.

MOYENS DE SUSPENSION DE LA BOUCHE A FEU.

Il est indispensable pour le succès de l'opération du tournage, que le mouvement de rotation de la bouche à feu, ait lieu autour de l'axe de l'ame afin que la surface extérieure soit concentrique à cet axe. Ce mouvement est obtenu, lorsque *les parties de la pièce, qui lui servent d'appui, sont elles-mêmes concentriques à l'ame.* Ces parties sont :

Vers la culasse :

Le trou de portée qui sert au forage.

Le collet du bouton de culasse, lorsqu'il a été tourné pendant que la pièce était sur le banc de forerie.

Vers le bourrelet :

La portée qui sert au forage.

L'astragale ou la plate-bande de volée lorsqu'elle a été tournée, pendant que la pièce était sur le banc de forerie.

La bouche de la pièce, dans laquelle on introduit un *mandrin* ou cylindre de même diamètre, percé suivant son axe d'une ouverture qui reçoit une broche, autour de laquelle se fait le mouvement de rotation.

La combinaison des moyens de soutenir la bouche à feu du côté de la culasse avec chacun des appuis vers la volée donne six modes de suspension.

La bouche à feu doit avoir autant que possible les mêmes appuis que pendant le forage, afin que l'axe de rotation ne puisse changer.

On peut toujours se servir du trou de portée pour fixer la pièce sur l'axe de la roue motrice, et il n'en résulte d'autre inconvénient que d'empêcher l'achèvement du bouton sur le tour. Mais en

tournant le bouton en partie, il est facile de le terminer ensuite au burin après la rupture du faux bouton.

En fesant porter la pièce sur la portée, on trouve un obstacle pour le tournage de la partie antérieure du bourrelet, dans la présence des montants du collier et du collier lui-même. Pour éviter cet obstacle, on creuse la portée avant le forage sur une portion excédante d'une plus grande longueur prise dans la masselotte, de manière à éloigner le bourrelet des montants du collier, ce qui en permet l'accès au tourneur. On peut alors façonner le bourrelet et une partie de la tranche ; et plus tard, on peut détacher la rondelle excédante, où se trouve la portée, et finir la tranche elle-même en fesant tourner la bouche à feu sur d'autres appuis. Ce procédé, qui est généralement pratiqué pour les pièces de bronze, a cependant l'inconvénient d'augmenter le travail du forage de toute l'épaisseur de la rondelle excédante, et d'exiger deux opérations pour le tournage.

Le seul moyen de tourner le bourrelet et la volée sans changer le mode de suspension de la pièce, consiste donc à soutenir celle-ci par un mandrin ou cylindre métallique, qu'on introduit dans la bouche : car cet appareil permet l'accès même de la tranche.

Les figures 1, 2 et 3, (planche XXVII), représentent un tour, sur lequel la pièce est suspendue par le trou de portée emboitant le téton de la roue motrice, et par un mandrin introduit dans la bouche et tournant sur une broche fixée à une forte poupée en fonte.

E F (fig. 1 et 2, planche XXVII) Roue motrice.

H Téton de la roue motrice.

I Mandrin cylindrique du diamètre de l'ame, soutenant la pièce par la bouche et tournant sur une broche *I K*, qui lui sert d'axe.

K Broche cylindrique, soutenant le mandrin *I* par une extrémité, et fixée par l'autre extrémité entre les coussinets d'une poupée *N N*.

t u Embàse au milieu de la broche *K*, arrêtant celle-ci à l'entrée de la bouche.

N N Poupée soutenant la partie antérieure de la pièce.

Les différents moyens de suspension à la fonderie de Liége, dépendent de circonstances particulières. Cet établissement n'étant destiné, lors de sa fondation, qu'à la fabrication des pièces de fonte pour la marine, les bancs de forerie n'ont pu être disposés pour

le placement de chariots de tour. Un seul banc (fig. 1 , planche XIV), à une des extrémités de la forerie, a pu recevoir l'appareil de Maritz pour le tournage des canons. Un autre banc (fig. 1 et 2) planche XXVII), à l'autre extrémité de l'atelier , a été converti en un tour à cylindrer et à plate-forme. Les deux appareils à tourner les bouches à feu , ne suffisent pas pour suivre le travail d'un atelier qui compte 14 autres bancs propres au forage , presque toujours en activité , grâces aux relations avec les gouvernements étrangers dont la fonderie de Liége est aujourd'hui en possession , et qui sont dues à l'initiative de M. le colonel Fréderix. Il a donc fallu adopter un mode d'opération, qui permît d'exécuter les travaux de tournage sansralentir ceux de forage.

Les pièces de fonte à tourner , sont façonnées au crochet de tour pendant le forage même ; ce travail est toujours terminé avant l'achèvement de l'ame , parce que l'on peut mettre plusieurs tourneurs sur une même pièce.

Mais il faut, pour finir le bourrelet et la tranche, transporter la bouche à feu après le forage sur le tour à cylindrer.

Les pièces de fonte qui ne doivent pas être tournées, sont également placées, après le forage , sur le tour à cylindrer pour le façonnage du bourrelet et de la tranche. Quand le temps presse, ces parties sont préalablement dégrossies au crochet de tour sur le banc de forage même.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, un seul tour à façonner les bourrelets ne peut pas toujours suivre le travail de 14 bancs de forerie. Il a été remedié à cette insuffisance en utilisant l'intervalle entre deux bancs de forerie, pour y placer une bouche à feu et un appareil de tour. La pièce est suspendue entre deux poupées , au moyen de deux broches, dont l'une est reçue dans le trou de portée et l'autre dans un mandrin introduit dans la bouche , ce qui réalise le mode de suspension pratiqué sur le tour à cylindrer : et pour roue motrice on se sert d'une poulie adaptée sur le corps même de la bouche à feu qui lui sert d'axe ou d'essieu (fig. 1 , planche XVI), 2e partie. La poulie est en deux pièces assemblées sur le corps de la bouche à feu par des brides à boulons. La courroie fort large est commandée par un tambour fixé au plafond de l'atelier. Le tambour est entraîné par une autre courroie s'enroulant sur une poulie montée sur l'arbre de couche d'une des machines à vapeur de la forerie.

L'appareil de tournage est un support à glissières, qu'on boulonne

sur une forte semelle servant de base à la poupée, qui soutient le bourrelet, et coulée d'une pièce avec cette poupée.

Lorsqu'on ne fore qu'une pièce de bronze à la fois, on le fait sur le banc auquel on a approprié la machine de Maritz, qui est alors utilisée pour le dégrossissage de la surface extérieure. Mais si plusieurs bouches à feu de bronze sont en confection, on procède pour l'une d'elles comme il vient d'être dit, et les autres sont dégrossies au crochet de tour sur leurs bancs de forage.

Le polissage de toutes les pièces de bronze, et l'achèvement du bourrelet et du bouton, se font ensuite dans l'atelier des tourneurs en employant le support à glissières ou le crochet de tour, selon qu'il s'agit de surfaces développables ou de surfaces à double courbure.

ARTICLE III.

TOURNAGE DES PIÈCES AU CROCHET DE TOUR. — TOURNAGE A L'ANGLAISE.

Tournage au crochet.

Le tournage des pièces au crochet de tour, se fait suivant les procédés qui ont été expliqués au chapitre II de ce livre. La bouche à feu peut être suspendue sur un tour ordinaire à lunette et à pointe fixe ; ou bien sur le banc de forerie.

Nous n'avons rien à ajouter pour le premier cas à ce qui a déjà été dit, et pour le second cas, nous n'avons qu'à mentionner les moyens employés pour fixer sur le banc de forerie le support en bois, dont la table sert d'appui au crochet du tourneur.

L'ouvrier place sous les parties de la pièce qui doivent être tournées, de petites entretoises mobiles en fonte reposant par des pattes sur les languettes de fonte, qui règnent sur les côtés du banc. Il les assujettit par des coins en bois chassés contre les jumelles du banc. Ces entretoises sont percées de trous qui permettent le passage des boulons à écrou, et servent d'appui à des supports ordinaires de tourneurs, auxquels sont fixés les supports en bois.

(Fig. 2, planche XXV) Banc de forerie disposé pour le tournage au crochet de tour.

a b c d Entretoise mobile en fonte.

a, *d* Pattes de l'entretoise.

e f g Support en fonte, formé d'une semelle percée d'une rainure et d'une partie en équerre.

f g Montant ou partie en équerre du support en fonte, sur laquelle on boulonne le support en bois.

h i Boulon fixant le support en fonte à l'entretoise mobile.

k l m Support en bois fixé au montant *f g* par un boulon à marteau.

Tournage à l'anglaise.

Le tournage *dit à l'anglaise*, a pour but de tourner les parties ou zônes de la surface de la pièce qui, présentant des saillies telles que les visières, etc., ne peuvent être façonnées par les procédés ordinaires. Le principe du procédé consiste à agir avec le crochet sur la surface de révolution, et à éloigner l'outil, à chaque rotation, en le fesant tourner sur une charnière suffisamment écartée du corps de la pièce, toutes les fois que l'obstacle ou la saillie menace de rencontrer le tranchant.

Le support *a b* (fig. 1, planche XXV), entièrement en fonte, est assez éloigné de la bouche à feu pour permettre le passage de la saillie *g* à la surface de la pièce.

Le *crochet à l'anglaise c d e* contourne, par sa courbure en *d*, la partie supérieure du support, d'où il résulte qu'on peut le faire tourner sur cette partie, comme sur une charnière, et éloigner le tranchant du corps de la bouche à feu, chaque fois qu'il peut être rencontré par la saillie. Dès que celle-ci s'éloigne du support, l'ouvrier s'empresse de reprendre le travail, en appuyant sur le manche, et amenant ainsi le tranchant contre le corps de la bouche à feu.

Le travail du tournage étant interrompu à chaque passage de la saillie, la partie adjacente de la surface ne peut être tournée et doit être achevée au burin.

Le tournage à l'anglaise malgré son travail incomplet, abrège cependant de beaucoup l'ouvrage de l'ajusteur.

ARTICLE IV.

MACHINE DE MARITZ POUR TOURNER LES BOUCHES A FEU.

Maritz a fait construire pour le tournage des bouches à feu, une machine qui se trouve dans la plupart des fonderies de France et dans celle de Liége. Elle consiste en un chariot de tour, ou *machine à tourner* proprement dite, en une *semelle* ou plaque mas-

sive de fonte disposée sur le côté du banc de forerie et servant à fixer l'appareil, et en une *table* ou support en fonte disposé le long du canon et soutenant l'extrémité du burin.

Une des jumelles du banc est remplacée par un côté en fonte, dont le plan supérieur est suffisamment abaissé, pour que le tranchant de l'outil ne dépasse pas le niveau de l'axe de la pièce.

Le chariot de tour se compose d'un *chariot* ou boite porte-outil et d'une *caisse en fonte*, ouverte par le haut, présentant deux bords supérieurs en dos d'âne parfaitement dressés. Le mécanisme est disposé de telle sorte que le chariot jouit d'un mouvement de translation suivant les longs côtés de la caisse, qu'il emboite par des retours en équerre, tandis que le couteau fixé à une coulisse ou boite coulante ajustée au chariot, est susceptible d'un mouvement perpendiculaire au premier au moyen d'une vis de rappel et de pression.

a' b' (fig. 1), planche XIV) Plan du chariot de tour.

Figure 4. Vue de côté du chariot.

e' f' (fig. 1) et *e f* (fig. 4) *Chariot en fonte ou en bronze* ou boite porte-outil, présentant le burin d'un côté et une vis de rappel de l'autre.

g' h' (fig. 1) Vis sans fin traversant la caisse dans toute sa longueur, emboitée par un écrou ajusté en dessous du *chariot*, servant à imprimer le mouvement de translation suivant la longueur de la caisse.

a b (fig. 4) Poignée d'une manivelle fesant tourner l'arbre *c d*.

m n Pignon d'angle monté sur l'arbre *c d*.

k l Roue d'angle engrenant avec le pignon *c d*, ayant pour axe le prolongement de la vis sans fin qui fait mouvoir la boite porte-outil.

g h Table ou support en fonte, adaptée à la caisse du chariot et servant d'appui à l'extrémité du burin.

i, *i*, *i* Vis de pression fixant le burin sur la coulisse ou boite coulante du chariot.

o p Semelle en fonte servant de base à la caisse du chariot, ayant un pivot en son milieu (invisible sur le dessin), qui traverse une ouverture percée dans le fond de la caisse, et permet à celle-ci de s'incliner diversement jusqu'à ce qu'elle devienne parallèle à la génératrice horizontale de la surface de révolution de la pièce.

q q Partie inférieure des boulons reliant la caisse du chariot à la semelle.

Il faut ménager des vides vis-à-vis des tourillons et des anses ou des autres saillies prononcées à la surface de la pièce. La fig. 1 représente deux chariots de tour, l'un pour la culasse et le 1[er] renfort, l'autre pour la fin du 2[d] renfort et pour la volée. Mais à la fonderie de Liége, il n'y a qu'une seule caisse, qu'on déplace suivant les besoins.

La pièce étant toujours sur le banc de forerie, on dispose la caisse sur la semelle parallèlement à la génératrice extérieure de la bouche à feu, le tranchant de l'outil au niveau de l'axe de rotation.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, le tournage comprend deux opérations, le dégrossissage et le polissage. Ces travaux exigeant de plus grands efforts que sur les tours ordinaires, on emploie des burins larges et épais, pour augmenter leur résistance et les empêcher de se détremper aussi facilement.

Les couteaux ont des tiges variant suivant la partie de la pièce qu'il s'agit d'entamer.

La tige est ordinairement droite ; mais lorsqu'il faut éloigner le tranchant de l'axe de la boîte coulante, de manière à atteindre les parties dont la largeur de la boîte ne permettrait pas d'approcher, on se sert de couteaux à tiges coudées.

Pendant le forage de la pièce, on commence le travail en creusant une gorge ou entaille circulaire ; puis on fait mordre le burin de côté, en fesant avancer le chariot parallèlement à la longueur de la caisse d'une certaine quantité à chaque tour, ainsi qu'il a été expliqué au livre III de notre 2[e] partie, page 96.

Le tournage est toujours le même quand on se sert de machines pour diriger le burin.

Pour les parties arrondies, telles que le cul de lampe, les doucines, etc., on a des couteaux contournés suivant leur profil.

On peut éviter l'emploi de couteaux, d'un entretien aussi difficile, par un burin ordinaire auquel on imprime à chaque tour un double mouvement, l'un de translation et l'autre de rapprochement ou d'éloignement de la bouche à feu suivant la forme de la partie à dégrossir.

Pour polir les surfaces coniques ou cylindriques, on se sert de tranchants larges et peu arrondis ou presque droits, et on prend

très-peu de métal à la fois, afin d'éviter les soubresauts, ce qui nuirait au poli des surfaces et à l'exactitude des dimensions.

Les parties arrondies, telles que le cul de lampe, les doucines, etc., sont polies au moyen de lames contournées suivant leur profil, ou ce qui est préferable avec des crochets de tour.

Nous avons dit que, pour tourner les surfaces cylindriques ou coniques, la caisse du chariot de tour devait être parallèle à la génératrice horizontale de la pièce. On s'assure du bon placement de cette caisse de la manière suivante.

On creuse dans le métal excédant, une gorge ou entaille d'une certaine profondeur à une des extrémités de la portion de tronc de cône ou de cylindre à tourner, et l'on marque à la surface du chariot ou boîte porte-outil, la position exacte de la coulisse ou boîte coulante à laquelle le burin est fixé.

Cela fait, on éloigne le burin du corps de la pièce, en agissant sur la vis de rappel, puis, au moyen de la vis sans fin qui traverse la caisse, on amène le chariot vis-à-vis l'autre extrémité de la portion du tronc de cône ou de cylindre.

On creuse une nouvelle entaille, en rapprochant successivement le burin de la pièce, et on arrête l'opération lorsque la boîte coulante est revenue à la place indiquée par la remarque faite sur le chariot. Si l'appareil est bien placé, les diamètres des deux gorges creusées, doivent avoir entre eux exactement les différences, qui résultent de l'inclinaison de la génératrice relativement à l'axe de la bouche à feu.

Ce moyen de vérifier la position de l'appareil, est applicable à toutes les machines à cylindrer, qu'elles s'appellent support à glissière, tour à cylindrer, etc.

Parmi les conditions que le chariot de tour et la semelle de fonte, servant à le fixer sur le côté du banc, doivent remplir, il en est une fort importante; toutes les pièces doivent avoir des dimensions très-fortes, la pesanteur qui en résulte, procurant une force d'inertie qui empêche ou diminue le mouvement vibratoire que les tourneurs appellent *brouter*.

Quant aux autres conditions, inhérentes à toutes les machines, telles que exactitude des surfaces planes, perfection des ajustements, etc., etc., on les concevra facilement.

Le banc où l'on a appliqué la machine de Maritz à la forerie de Liége, est, comme les autres bancs de cet établissement, peu élevé

au-dessus du sol , ce qui gêne le tourneur en le forçant de se baisser dans le travail ; le placement du chariot en est difficile , et l'embarras qui en résulte, est augmenté par la nécessité de le changer de position pour tourner de part et d'autre des tourillons. Ces inconvénients sont causes qu'à la fonderie de Liége, la machine de Maritz ne sert qu'au dégrossissage des pièces de bronze, qu'on achève ensuite sur un banc ordinaire de tourneur. Cependant , si la besogne pressait , on pourrait finir la pièce sans la déplacer de son banc de forerie.

ARTICLE V.

TOUR A PLATE-FORME ET A CYLINDRER POUR LE TOURNAGE DES BOUCHES A FEU.

(Fig. 1, 2 et 3 , planche XXVII.)

Ce tour se compose de :

1° Un banc ou caisse en fonte.

2° Une roue ou poulie motrice montée sur l'arbre du tour.

3° L'arbre du tour, portant une plate-forme pour servir à l'occasion de tour en l'air , et présentant sur son axe un teton cylindrique pour soutenir la bouche à feu par le trou de portée.

4° Une semelle ou chariot porte-outil.

5° Un support à glissières et à pivot , porte-burin , boulonné sur le chariot porte-outil.

6° Une semelle ou chariot porte-poupée.

7° Une poupée mobile , fixée sur le chariot porte-poupée , pour soutenir la bouche de la pièce.

8° Une crémaillère sur le côté du banc.

9° Une vis sans fin, suivant l'axe du banc.

10° Divers organes de transmission du mouvement.

La bouche à feu est suspendue *par le trou de portée* au teton fixé sur l'arbre du tour , et *par la bouche* à l'aide d'un cylindre de même diamètre que l'ame. Un pivot horizontal sert d'axe à ce cylindre et est resserré par l'extrémité opposée entre les coussinets de la *poupée mobile.*

C'est un des modes de suspension décrits à l'article II de ce chapitre.

Le banc est une caisse rectangulaire en fonte , ouverte suivant sa longueur par le haut , et ayant de chaque côté des directrices

parallèles, horizontales et bien dressées servant de chemin de fer aux chariots porte-outil et porte-poupée.

Les chariots porte-outil et porte-poupée, sont des plaques en fonte avec des parties en retour pour emboiter, à frottement doux, les directrices ou chemin de fer du banc. Ils sont pourvus chacun d'un pignon denté engrenant avec la crémaillère placée sur le côté du banc.

On fait tourner ce pignon à volonté à l'aide d'un croisillon sur lequel on agit avec la main. Ce moyen permet de faire mouvoir les chariots suivant la longueur du banc.

Le chariot porte-outil est relié à la vis sans fin à l'aide d'un écrou mobile à volonté.

Un système de poulies à engrenages ou à courroie, en communication avec le moteur de l'atelier, fait tourner la vis sans fin, avec une vitesse de rotation dans un rapport déterminé avec celle de la pièce.

Pour arrêter le mouvement de la vis, on fait passer la courroie sur une poulie folle.

Soient :

P Le pas de la vis sans fin.

V Le nombre de tours que la vis fait par minute.

V' Le nombre de tours que la pièce fait par minute.

x L'avancement du burin parallèlement à l'axe de la bouche à feu à chacun de ses tours.

Le burin s'avance par minute, à chaque tour de la vis sans fin, d'une quantité égale au pas P multiplié par le nombre V de tours de la vis, ce qui donne P V.

Mais pendant cette minute la pièce fesant V' tours : l'avancement du burin à chaque tour de la pièce est

$$x = \frac{P\,V}{V'}.$$

Dans cette machine, il n'est pas nécessaire de soutenir l'extrémité du burin vers le tranchant par un support particulier en métal comme dans l'appareil de Maritz, parce que la glissière porte-burin du support à glissières et à pivot peut être placée aussi près qu'on le veut du corps de la pièce.

Le chariot porte-outil se meut toujours parallèlement à la longueur du banc pendant la rotation de la pièce, soit qu'on le mette en mouvement à l'aide de la vis sans fin, soit que le déplacement

ait lieu au moyen de la crémaillère placée sur le côté du banc; cependant il faut que le mouvement de ce chariot soit toujours parallèle à la génératrice horizontale de la surface conique ou cylindrique de la pièce. Voici comment on obtient ce parallélisme.

Le chariot porte-poupée présente, à sa partie supérieure, une glissière mobile par une vis de rappel, dans une direction perpendiculaire à la longueur du banc. La poupée mobile, soutenant la bouche de la pièce, est assemblée avec cette glissière qui lui sert de base. Il en résulte qu'en fesant mouvoir la glissière dans sa coulisse, on écarte ou on rapproche la bouche de la pièce de l'axe du banc, suivant le sens du mouvement; d'ailleurs le trou de portée de la bouche à feu reste toujours sur le teton de l'arbre du tour ou sur l'axe du banc.

On peut donc à volonté amener l'axe de la pièce sur l'axe du banc, pour tourner les surfaces cylindriques ou l'incliner de la quantité nécessaire pour former les surfaces coniques.

Ainsi, dans le tour qui nous occupe, le chemin du chariot porte-outil est invariable, et l'axe de rotation de la pièce est incliné sur l'axe du banc suivant les surfaces à former. Dans la machine de Maritz, au contraire, l'axe de la pièce est invariable, et c'est la caisse du chariot qui est dirigée parallèlement à la génératrice horizontale de la bouche à feu.

(Fig. 1, planche XXVII) Elévation du tour à plate-forme et à cylindrer, servant au tournage des bouches à feu.

(Fig. 2) Plan du tour.

(Fig. 3) Vue de l'extrémité du banc.

E F (fig. 1 et 2) Plate-forme circulaire en fonte montée sur l'arbre de la roue motrice.

H Broche ou teton soutenant la pièce par le trou de portée.

G (fig. 1) Broche ou accroche fixée à la plate-forme entraînant la griffe adaptée au carré du faux bouton, de sorte que la plate-forme et la pièce tournent ensemble.

H I (fig. 1 et 2) Bouche à feu suspendue par le teton entrant dans le trou de portée et par un cylindre introduit dans la bouche de l'ame et tournant sur une broche ou mandrin cylindrique.

I Cylindre en fonte, du diamètre de l'ame, introduit dans la bouche et s'appuyant par une embase contre la tranche.

Pour faciliter l'introduction dans la bouche et surtout la sortie de ce cylindre, on a composé sa surface convexe d'une série de côtes parallèles à l'axe, présentant autant de plein que de vide,

et formant une surface légèrement conique, afin de pouvoir suivre les petites variations de calibre inévitables dans le forage.

K Mandrin cylindrique, entrant par une extrémité, dans l'ouverture percée au centre du cylindre I auquel il sert de pivot, et resserré par l'autre extrémité entre les coussinets de la poupée mobile.

N N (fig. 1, 2 et 3) Poupée mobile soutenant la bouche de la pièce.

A B Caisse en fonte ou banc du tour, dont les longs côtés sont dressés à la surface supérieure et à celle en retour, et servent de directrices ou chemins de fer à la semelle porte-poupée et à la semelle ou chariot porte-outil.

a b (fig. 1) Crémaillère fixée sur le côté de la caisse *A B*.

L M (fig. 1, 2 et 3) Chariot porte-poupée emboîtant les côtés de la caisse ou banc par des retours bien ajustés (fig. 3).

l m (fig. 1) Pignon à croisillon supporté par la semelle *L M*, et engrenant avec la crémaillère *a b*.

n n (fig. 1 et 2) Glissière du chariot porte-poupée boulonnée à la poupée mobile *N N*, se mouvant au moyen de la vis de rappel *n' n'* (fig. 2) dans une coulisse à la partie supérieure de la semelle *L M*.

Pour tourner cylindriquement, on agit sur la vis de rappel *n' n'* (fig. 2) de manière à amener l'axe de la pièce *H I* dans le plan vertical de symétrie du banc. On incline au contraire l'axe de la pièce sur ce plan de symétrie de la quantité nécessaire, si l'on veut tourner une surface conique.

O P (fig. 1 et 2) *Chariot porte-outil*, emboîtant les directrices du chemin de fer.

op (fig, 1) Pignon denté et à croisillon, engrenant avec la crémaillère *a b*, et permettant le mouvement à la main du *chariot porte-outil* suivant la longueur du banc.

R S (fig. 1, 2 et 3). Support à glissières fixé sur la semelle *O P*.

Le support à glissières comprend les mêmes parties que celles décrites à l'article 2, chapitre III.

La glissière porte-burin peut être rapprochée de la pièce autant qu'on le veut. Il en résulte que le tranchant de l'outil est moins isolé qu'avec le chariot de Maritz, et que l'on ne doit pas le soutenir par des supports en fonte contournant la bouche à feu.

H Q (fig. 2) Vis sans fin reliée au chariot porte-outil *O P* par

un écrou qu'on peut ôter à volonté. On comprend aisément, qu'on peut monter une poulie sur l'axe de cette vis, et la mettre en mouvement par une courroie s'enroulant sur une poulie maîtresse.

Les burins doivent être larges et épais, comme avec la machine de Maritz : ils sont droits, ou courbés à droite ou à gauche, suivant les circonstances.

Nous avons déjà dit que les parties de la surface de la pièce à double courbure, comme le bourrelet, doivent être finies avec des lames profilées en conséquence, ou, ce qui est préférable, avec le crochet de tour.

ARTICLE VI.

TOURNAGE DES SURFACES CYLINDRIQUES OU CONIQUES A L'AIDE DE PRISMES EN ACIER FONDU ET TREMPÉ, MOBILES SUR UN SUPPORT EN FONTE.

(Fig. 4, 5, 6, 7 et 8, planche XXVII).

L'emploi du crochet de tour a l'avantage d'être praticable sur tous les bancs de forerie, parce qu'il est toujours possible de placer près des pièces, les supports dont les tourneurs ont besoin pour appuyer leurs outils. D'un autre côté, nous avons signalé la supériorité des burins à support fixe. Le procédé suivant a été essayé dans le but de réunir la facilité d'application à tous les bancs de forerie, qui appartient au crochet de tour, avec les avantages que présente le travail au support fixe.

Un support en fonte, semblable à ceux en bois dont se servent les tourneurs, est disposé près de la bouche à feu sur son banc de forerie. Sur la table de ce support, on place un prisme quadrangulaire en acier fondu, présentant vers le corps de la pièce une arête vive supérieure, et retenu du côté opposé par l'épaulement du support.

Deux vis de pression agissant sur le prisme, pressent l'arête vive contre le métal de la pièce et la font mordre à la manière des couteaux.

L'épaulement en arrière de la table est percé d'une rainure que traversent les vis de pression. Celles-ci sont d'ailleurs retenues par des écrous, qui s'appuient sur l'épaulement du côté de la bouche à feu.

Cette rainure permet de varier à volonté la position des vis de pression et de leurs écrous.

A B (fig. 4, 5, 6 et 7 Support en fonte.

D E (fig. 4 et 6) Rainure pratiquée dans l'épaulement du support en arrière de la table.

c (fig. 5 et 6) Têtes des vis de pression.

f g (fig. 7) et *f g* , *f' g'* (fig. 5) Table du support en fonte.

f h (fig. 7) , *f h* , *f' h'* (fig. 6) et *f g h' h* (fig. 5). Epaulement en arrière de la table.

f i (fig. 7 et 8). Prisme ou couteau.

l m (fig. 5 , 6 et 7). Ecrous des vis de pression.

L'appareil étant disposé près de la bouche à feu , on fait avancer le prisme, vers le métal à enlever , d'une petite quantité à chaque tour , à l'aide des vis de pression , en ayant soin d'incliner le tranchant suivant la génératrice horizontale de la surface à tourner. Cette inclinaison s'obtient par la saillie plus ou moins forte d'une des vis de pression relativement à l'autre.

Un seul ouvrier peut surveiller le travail de deux ou trois prismes, selon la longueur du tronc de cône ou du cylindre à façonner.

Ce procédé est simple et applicable à tous les bancs de forerie, mais il a les inconvénients suivants.

Il est difficile de remplacer promptement les prismes lorsque leurs arêtes sont émoussées, ce qui arrive fréquemment : le peu de taillant de leurs tranchants et leur développement augmentent énormément la résistance au mouvement de rotation : enfin, le travail ne peut être convenablement dirigé.

CHAPITRE V.

TOURNAGE DES TOURILLONS.

ARTICLE I.

MACHINE A TOURNER LES TOURILLONS.

Planche XXVIII.

A la fonderie de Liége , les tourillons étaient autrefois façonnés au burin , ainsi que cela se pratique encore dans plusieurs établissements. Ce travail long et coûteux demandait d'habiles ajusteurs. Il se fait actuellement par une opération de tour, sur une machine à tourner les tourillons dont la description suit.

Une bouche à feu possède une masse trop considérable pour

qu'on puisse lui imprimer un mouvement de rotation autour de l'axe des tourillons : c'est donc le couteau qui se meut circulairement autour de cet axe en s'avançant à chaque révolution d'une petite quantité vers le corps de la pièce.

La bouche à feu est placée horizontalement sur deux supports en fonte, auxquels elle est reliée par des brides et des vis de pression. De chaque côté et dans le prolongement de l'axe des tourillons, se trouve un arbre cylindrique porte-couteau ; mobile suivant cet axe, entre des coussinets ou emboîtements adaptés aux deux montants d'une poupée.

L'arbre cylindrique jouit d'un double mouvement de rotation et de translation. Il est garni à l'extrémité du côté de la pièce, d'un manchon auquel est fixé le couteau, et dont l'ouverture est assez grande pour recevoir le tourillon.

Par suite du double mouvement de rotation et de translation de l'arbre cylindrique, le couteau tourne autour du tourillon, s'avance à chaque tour d'une certaine quantité, en détachant le métal qu'il rencontre sur son passage, et la surface qu'il façonne est un cylindre.

Le mouvement de rotation des arbres porte-couteau, est imprimé à l'aide de roues à engrenages, communiquant avec l'arbre de couche d'une machine à vapeur. Les axes de ces roues sont creux et traversés par les arbres porte-couteau , qui leur servent d'essieu. Ces arbres sont munis, suivant leur longueur, d'une languette entrant dans une rainure pratiquée dans le moyeu de la roue ; il en résulte que la roue ne peut tourner sans entraîner l'arbre qui la traverse.

Le mouvement de translation de l'arbre au travers le centre de chaque roue à engrenages, est obtenu par une vis de pression et de rappel.

Des échappements servent à interrompre le mouvement de l'une ou l'autre des roues à engrenages ou de toutes les deux à la fois. Le mécanisme existe de chaque côté de la pièce , et permet le façonnage des deux tourillons en même temps.

Le système doit être solidement établi pour éviter les vibrations si nuisibles dans les opérations de tour. A cet effet, une forte plaque de fonte scellée à une fondation en maçonnerie, sert de base à l'appareil. Elle présente supérieurement deux chemins de fer en dos d'âne perpendiculaires entre eux.

L'un de ces chemins sert de directrices aux supports des canons

que l'on peut rapprocher ou éloigner suivant la longueur de la bouche à feu.

Ces supports dont la distance varie suivant la longueur de la pièce, sont fixés par des boulons à marteau s'engageant dans des rainures pratiquées dans la plaque, parallèlement aux chemins de fer.

Le second chemin de fer sert de directrices aux poupées des arbres porte-couteau, que l'on peut placer à une distance convenable de la bouche à feu, suivant l'écartement des tranches des tourillons. Des boulons à marteau relient ces poupées à la plaque de fonte, qui sert de base à l'appareil.

Il est essentiel de s'assurer que l'axe des tourillons est placé dans le prolongement de l'axe des arbres cylindriques porte-couteau. A cet effet, ceux-ci présentent, du côté de la pièce, et suivant leur axe, une pointe conique qui doit rencontrer le centre de la tranche du tourillon, lorsqu'on fait suffisamment marcher l'arbre porte-burin vers la bouche à feu.

Toutes les parties de la machine sont en fonte ou en fer forgé, à l'exception de quelques pièces, telles que coussinets, certains écrous et quelques cylindres qui sont en bronze. Les couteaux sont en acier fondu.

La machine a été établie dans un des intervalles entre deux bancs de forerie, ce qui a permis de prendre directement le mouvement à l'arbre moteur d'une des deux machines à vapeur de l'atelier, et de profiter du chariot à treuil pour le placement de la bouche à feu. Le mouvement est communiqué aux roues à engrenages des arbres porte-couteau, par deux pignons dentés montés sur un même arbre. Cet arbre placé sur la plaque, qui sert de base à l'appareil en dessous de la bouche à feu, est mis en mouvement par l'arbre de couche de la machine à vapeur, au moyen d'autres roues dentées intermédiaires.

Figure 1 (planche 28). Elévation de la machine à tourner les tourillons prise parallèlement à l'axe de la bouche à feu.

Figure 2. Plan de la machine.

Figure 3. Elévation sur un plan parallèle à l'axe des tourillons.

Figure 4. Coupe brisée par un plan passant pas l'axe des tourillons.

A A (fig. 1) Bouche à feu.

B B (fig. 1 et 3) Supports de la bouche à feu (un pour la volée, un autre pour le 1er renfort).

C D, *C D* Poupées des arbres porte-couteau. Il y en a une en

regard de chaque tourillon. Elles sont composées chacune de deux supports réunis par deux traverses.

E E (fig. 1, 2, 3 et 4) Roues à engrenages concentriques avec les arbres porte-couteau.

F F (fig. 1 et 3) Pignons montés sur l'arbre moteur de la machine, engrenant avec les roues *E E*.

G G (fig. 1 et 2) Tiges cylindriques en fer forgé, au nombre de deux, placées de chaque côté de la bouche à feu, et reliant les supports *B B*, pour en augmenter la stabilité.

G (fig. 3) Trous percés dans les montants des supports *B B*, pour recevoir les tiges *G G* (fig. 1 et 2).

g g (fig. 1) Clavettes chassées dans des mortaises pratiquées dans les tiges *G G*, reliant ces tiges aux montants des supports *B B*.

H H (fig. 1 et 3) et H, H .... H (fig. 2) Forte plaque de fonte, en forme de croix servant de base à l'appareil, scellée à une fondation en maçonnerie.

I I (fig. 1) Boulons à marteau traversant des rainures pratiquées dans la plaque, pour y fixer les supports.

K K (fig. 1 et 2) Chemins de fer en dos d'âne, parallèles à l'axe des tourillons, servant de directrices aux poupées des arbres porte-burin.

L L Chemins de fer perpendiculaires aux précédents servant de directrices aux supports *B B*.

b b b (fig. 3) Bride ou chapeau mobile, circulaire et à pattes, reliée par des boulons à vis aux montants des supports *B B*.

b', *b'*, *b'* et *b'* Vis de pression agissant sur la pièce.

N M (fig. 3 et 4) Arbres porte-couteau, formés de deux cylindres concentriques.

O P (fig. 4) Manchon adapté à l'arbre *N M*, et armé du couteau. Des vis de rappel traversant le manchon permettent de varier la position du couteau.

p p Petit cylindre en acier terminé par une pointe conique, concentrique à l'arbre porte-couteau et servant à vérifier la position de l'axe des tourillons.

R Vis de rappel et de pression ayant son écrou percé dans l'arbre porte-couteau afin de prendre moins de place.

S S Coussinets en bronze entre lesquels tourne la partie de l'arbre porte-couteau du côté de la pièce.

q q Cylindre creux en bronze, à surfaces concentriques : *servant*

d'axe à la roue E E (fig. 1, 2, 3 et 4) et traversé par la partie amincie de l'arbre porte-couteau. Ce cylindre tourne entre une paire de coussinets fixés sur les montants de derrière de la poupée. Il présente, suivant une génératrice intérieure, une rainure dans laquelle s'engage une languette adaptée à l'arbre porte-couteau. Il en résulte que la roue E E (fig. 4) entraine dans son mouvement de rotation le cylindre *q q* et l'arbre porte-couteau : tandis que ce dernier peut avancer ou reculer au moyen de la vis *R*.

T T (fig. 3) Arbre de couche de la machine à vapeur.

T' T'' (fig. 3 et 4) Pignon monté sur le prolongement de l'arbre *T T*.

T'' T''' (fig. 3 et 4) Roue motrice de l'arbre moteur de la machine à tourner les tourillons.

U U (fig. 4) Arbre moteur de la machine à tourner les tourillons.

V V (fig. 1 et 4) Roue à rochets montée sur l'axe de la vis de rappel *R* (fig. 4) de l'arbre porte-couteau.

v' v' (fig. 1) Petite roue dentée engrenant avec une autre roue qui est montée sur l'arbre porte-couteau et cachée sur le dessin par la roue à rochets *V V*.

L'axe de la roue *v' v'* porte un rayon ou manivelle à laquelle une bielle est attachée. Cette bielle, en vertu de son mouvement de va-et-vient, fait mouvoir un encliquetage agissant sur les dents de la roue à rochets *V V*.

L'encliquetage fait décrire à chaque tour de l'arbre porte-couteau, un certain angle à la roue *V V* et par suite à la vis de rappel *R* (fig. 4), laquelle communique un petit mouvement de translation à l'arbre porte-couteau.

On règle la grandeur de ce mouvement en augmentant ou diminuant à volonté la manivelle montée sur l'axe de la roue *v' v'* (fig. 1).

ARTICLE II.

APERÇU SUR LES OPÉRATIONS QUI COMPOSENT LE CENTRAGE DES TOURILLONS. TRACÉ DU TRAIT CARRÉ.

Aperçu sur les opérations qui composent le centrage des tourillons.

Le centrage des tourillons doit précéder le placement de la bouche à feu sur la machine à tourner les tourillons. Il consiste à

marquer d'un coup de pointeau les points où leur axe vient couper les deux tranches. Pour déterminer ces points, on repère à la surface de la pièce, la position d'un plan diamétral perpendiculaire à l'axe des tourillons. Ce plan sert ensuite à en trouver un second, également diamétral, mais perpendiculaire au premier et par conséquent parallèle à l'axe des tourillons. On marque les traces de ce second plan sur les deux tranches. Parallèlement à ces traces, et à une distance égale à l'abaissement des tourillons, on tire sur chaque tranche une droite, qui par construction doit intercepter l'axe cherché. En prenant donc sur ces droites, les points distants de la plate-bande de culasse (ou de la tranche de la bouche) d'une quantité indiquée par les tables de construction, on aura exactement les intersections de l'axe des tourillons avec chaque tranche.

Du trait carré.

On considère les positions des deux plans diamétraux de la pièce comme suffisamment déterminées, lorsqu'on en possède les traces sur deux parties extrêmes de la bouche à feu, telles que *la tranche de la bouche et la plate-bande de culasse.*

En effet, si l'on amène successivement dans un même plan vertical les traces d'un des plans diamétraux, et qu'on joigne celles correspondantes à chacune des extrémités de la pièce ou leurs prolongements au moyen d'une règle, il suffit de diriger un poinçon verticalement le long de cette règle sur le corps de la pièce, pour marquer sur celle-ci ses intersections avec les plans diamétraux en question.

On appelle *trait carré sur la tranche, les droites marquées sur la tranche, indiquant les traces de deux plans diamétraux de la pièce, dont l'un est parallèle et l'autre perpendiculaire à l'axe des tourillons.* Il y a également *le trait carré sur la plate-bande de culasse.* Ce dernier peut facilement être remplacé par un fil à plomb ou une règle verticale, dirigé au centre du trou de portée, si l'on amène successivement les traces du trait carré à la tranche dans une position également verticale. On se borne le plus souvent à former le trait carré sur la tranche, qui est alors appelé simplement *le trait carré.*

Exécution du trait carré.

Placement de la bouche à feu, l'ame et les tourillons dans la position horizontale.

On dispose la pièce, l'ame et les tourillons horizontaux, sur deux chantiers établis sous le chemin du chariot à treuil, qui parcourt la forerie et l'atelier des ajusteurs de canons, afin de profiter des facilités qu'il offre pour le transport et le maniement des bouches à feu.

Vérification de l'horizontalité de l'ame.

Pour vérifier si la pièce est dans une position horizontale, il faut introduire dans l'ame une règle parfaitement dressée sur toutes ses faces, et la faire reposer sans ballottement sur deux génératrices de la surface de l'ame.

Le niveau à bulle d'air (fig. 5, planche XXIV), placé sur la partie de la règle dépassant la bouche, permet ensuite de s'assurer si l'ame est horizontale.

Des niveaux de maçon, à pendule, etc., peuvent remplacer le niveau à bulle d'air, pourvu qu'ils soient exacts.

Vérification de l'horizontalité des tourillons.

Il faut des instruments particuliers pour reconnaître si les tourillons sont horizontaux, parce que les génératrices rectilignes de leur surface cylindrique sont interrompues par le corps de la pièce.

Parmi ces instruments, un des plus simples est le *niveau à fil à plomb* (fig. 3, planche XXIX) *avec base échancrée pour faire place au corps de la pièce.* On le fait reposer sur les génératrices supérieures des tourillons par les parties *a b*, *c d*.

Un autre appareil fréquemment employé est la *double équerre à talons* (fig. 4), dont les parties en retour ou talons, *a b*, *c d*, sont parallèles à la branche intermédiaire *e f*. On appuie la double équerre verticalement sur les tourillons, les talons *a b*, *c d*, dirigés suivant les génératrices supérieures (fig. 7), et on se sert du niveau à bulle d'air ou de tout autre pour vérifier si l'horizontalité cherchée est obtenue.

Moyens de faire tourner la pièce sur son axe.

Il faut des appareils particuliers pour faire tourner les bouches à feu sur elles-mêmes. Un appareil fort simple consiste en un levier de fer terminé par une lunette, (fig. 10, planche XXIX), *le levier à lunette.* L'ouvrier saisit un des tourillons dans la lunette, et appuie sur l'extrémité du levier dans le sens voulu pour faire pivoter la pièce.

On utilise, dans le même but, le chariot à treuil du chemin de fer suspendu, qui parcourt la forerie et l'atelier des ajusteurs de canons. Le chariot est amené au-dessus de la pièce, et le crochet du mouffle inférieur est relié par un cordage à l'un des tourillons; en agissant ensuite sur le treuil du chariot, on fait pivoter la pièce sur elle-même. Cette manœuvre a été décrite à l'occasion du centrage des canons.

Détermination de l'axe des tourillons coulés coniques. Précaution à prendre lorsque les pièces ont des saillies, telles que champ de lumière, masse de mire, etc.

Les tourillons bruts étant presque toujours coniques, afin de faciliter le dégagement des laitiers qui se forment lors de la coulée, on place l'axe des tourillons le plus horizontalement possible, mais sans chercher une rigueur mathématique. Il faut avoir égard aux saillies que la pièce présente, telles que champ de lumière, visière, etc., pour que le plan de symétrie de la bouche à feu, relativement à ces parties saillantes, soit perpendiculaire à l'axe des tourillons.

Tracé du trait carré sur la tranche de la bouche.

La tranche de la bouche doit être enduite de sanguine ou de craie, afin de rendre plus visibles les lignes qu'on doit y tracer : on applique un fil à plomb très-mince contre la tranche, de manière qu'il coupe le cercle de l'ame, et on dirige suivant ce fil une règle, le long de laquelle on promène une pointe d'acier. Ce tracé donne sur la tranche les prolongements d'une sécante au cercle de l'ame; verticale et perpendiculaire à l'axe des tourillons.

Pour trouver la direction du diamètre perpendiculaire à la sécante, on prend les points où celle-ci coupe le cercle de l'ame (ou un cercle concentrique, tel que l'arête d'une moulure, etc.),

comme centres de quatre arcs de cercle, qu'on décrit deux à deux sur la tranche, avec la même ouverture de compas. Ces arcs se coupent à droite et à gauche de la sécante, et la droite qui les unit contient le diamètre cherché parallèle à l'axe des tourillons. On marque cette droite sur la tranche à l'aide d'une pointe d'acier et d'une règle.

Le diamètre parallèle à l'axe des tourillons étant obtenu, on emploie un procédé semblable pour en tracer un autre, qui lui soit perpendiculaire, ce qui forme le trait carré sur la tranche de la bouche.

ARTICLE III.

CENTRAGE DES TOURILLONS.

Tracé des intersections des tranches des tourillons avec le plan diamétral de la pièce parallèle à leur axe.

On fait tourner la pièce sur elle-même par un des moyens indiqués, jusqu'à ce que les tourillons soient verticaux. Dans cette position, la *ligne du trait carré parallèle à l'axe des tourillons* est également verticale, et sa direction coïncide avec celle d'un fil à plomb placé contre la tranche de la bouche.

On applique sur la tranche et suivant cette ligne, une règle assez longue pour dépasser le niveau du tourillon supérieur (fig. 1 et 2, planche XXIX), et l'on dirige une autre règle verticalement par le centre du trou de portée. Ces deux règles sont comprises dans le plan diamétral de la pièce parallèle à l'axe des tourillons et vertical en ce moment : elles servent d'appui à une troisième règle placée horizontalement sur le tourillon supérieur. On en marque la direction sur la tranche avec une pointe d'acier, *ce qui donne l'intersection de cette tranche avec le plan diamétral de la pièce parallèle à l'axe des tourillons* (fig. 1 et 2).

En faisant faire un demi tour à la pièce et répétant l'opération, on obtient sur le second tourillon, l'intersection de sa tranche avec le plan diamétral de la bouche à feu parallèle à l'axe des tourillons.

Règle à fil à plomb et à pivot pour mener une verticale par le centre du trou de portée.

Un appareil assez simple pour diriger une règle verticalement

par le centre du trou de portée, consiste en une règle en tôle, pourvue d'un fil à plomb, et portant à une de ses extrémités un pivot au diamètre du trou de portée ; ce pivot a son centre sur la direction de l'arête de la règle.

Deux vis de pression traversant des écrous fixés à l'appareil, et agissant sur le carré du faux bouton, servent à assurer la position de l'objet.

g h (fig. 8, planche XXIX) Pivot en fer du diamètre du trou de portée. Il est légèrement conique pour en faciliter l'entrée.

a b Côté de la règle dont la direction prolongée passe par le centre du pivot *g h*.

c d Fil à plomb servant à vérifier la verticalité du côté *a b*.

e f l k Base de la règle, en tôle d'une pièce avec la règle.

m, *n* Vis de pression servant à fixer l'appareil au carré du faux-bouton.

Modification qu'on peut apporter au procédé pour trouver les traces d'un plan diamétral de la pièce.

Ce procédé et les appareils que nous avons décrits, ne sont pas les seuls dont on puisse faire usage. On peut en créer d'autres. Le quart de cercle avec pointeau mobile *a b* (fig. 6), est souvent employé pour trouver un point culminant, sur la plate-bande de culasse ou sur le renflement du bourrelet, lequel point se trouve dans le plan vertical passant par le centre de la bouche à feu. Cet appareil est souvent en usage lorsque la plate-bande de culasse est tournée.

Un niveau de maçon ou à bulle d'air placé sur une règle en équerre, peut donner la direction de la verticale. Il en est de même du fil à plomb suspendu à une potence, etc.

Au lieu de placer une règle, suivant les points culminants de la bouche à feu, on peut tendre un fil enduit de craie entre ces points, et le faire vibrer verticalement pour avoir sa trace sur le corps de la pièce, etc, etc.

Tracé sur les tranches des tourillons de leurs intersections avec un plan passant par leur axe et parallèle à celui de l'ame.

A mesure qu'on marque sur chaque tranche, son intersection avec le plan diamétral de la pièce parallèle à l'axe des tourillons,

on tire encore sur cette tranche, une autre droite parallèle à cette intersection, et distante d'une quantité égale à l'abaissement des tourillons. On obtient ainsi sur chaque tranche, son intersection avec un plan passant par l'axe des tourillons et parallèle à l'axe de l'ame.

Détermination de l'axe des tourillons.

On marque, sur *l'intersection* de chaque tranche avec le plan passant par l'axe des tourillons parallèlement à l'axe de l'ame, un point distant de la plate-bande de culasse de la quantité indiquée par les tables, pour la position de l'axe des tourillons. Ce point est sur l'axe cherché; on le repère d'un coup de pointeau, et on le prend pour centre de plusieurs cercles, qu'on décrit sur la tranche, avec diverses ouvertures de compas. Ces cercles doivent servir à vérifier si les couteaux de l'arbre porte-burin tournent concentriquement à l'axe des tourillons.

ARTICLE IV.

TRACÉ DE L'ÉCARTEMENT DES EMBASES. — TOURNAGE DES TOURILLONS.

Pendant le centrage des tourillons, il faut marquer sur le 2me renfort, la trace du plan diamétral de la pièce perpendiculaire à leur axe. Les tranches des embases devant être à égales distances de cette trace, on marque leur position sur le corps de la pièce.

Le canon étant placé sur la machine à tourner les tourillons, l'ouvrier vérifie s'il est bien centré, au moyen des pointes coniques placées sur l'axe des arbres porte-couteau; ces pointes étant suffisamment rapprochées, doivent rencontrer les points de l'axe des tourillons.

Le canon est ensuite affermi dans sa position, au moyen de vis de pression, adaptées aux supports, et au besoin par des arcs-boutants retenus par un appui quelconque; puis l'on met le tour en mouvement, pour faire mordre les couteaux. On prend les mêmes précautions que celles indiquées à l'occasion du forage et du tournage.

L'ouvrier commence par dégrossir les tourillons, et s'arrête à une petite distance de la marque indiquant l'écartement des embases, dont il vérifie encore une fois la position.

Il marque ensuite la longueur des tourillons, et en dégrossit les

tranches. Le dégrossissage se fait en plusieurs fois suivant la quantité de métal excédant.

Pendant le travail il faut s'assurer attentivement que la pièce ne s'est pas déplacée, et rectifier immédiatement sa position, s'il y a lieu.

Après le dégrossissage vient le polissage, et la mise exacte aux dimensions voulues, des tourillons et de la partie des embases que le corps de la pièce permet de tourner.

La machine a deux vitesses, l'une pour la fonte et l'autre pour le bronze.

Le tournage laisse toujours au centre de la tranche du tourillon un petit noyau cylindrique, parce qu'on ne fait agir le couteau qu'à une certaine distance de l'axe de rotation. Mais ce noyau est facile à enlever au burin.

CHAPITRE VI.

TOURNAGE DES GLOBES D'ÉPROUVETTE.

ARTICLE I.

MACHINE A TOURNER LES GLOBES D'ÉPROUVETTE, EMPLOYÉE A LA FONDERIE DE LIÉGE, ET IMAGINÉE PAR L'AUTEUR EN 1839.

(Planche XXXI).

Inconvénient du tournage des globes sur un tour ordinaire.

Les globes étaient autrefois façonnés au crochet, sur un tour ordinaire. Il fallait un ouvrier habile pour obtenir la précision voulue.

Le travail sur un tour ordinaire présente les inconvénients suivants :

1° Le crochet de tour ne permet pas d'enlever autant de matière qu'un burin à support fixe.

2° L'ouvrier n'a qu'un gabarit ou portion d'arc de cercle pour guide ; il est obligé d'interrompre son travail à chaque instant, pour vérifier la courbure de la surface qu'il tourne.

3° Le globe se décentre par l'usure inégale du trou de centre tournant sur la pointe mobile. Cette usure est provoquée par la durée du travail.

4° L'ouvrier ne procède que par tatonnements, car il est tou-

jours occupé à corriger une surface qui ne cesse de se décentrer.

L'emploi de la machine que nous avons imaginée en 1839, et dont l'adoption a eu lieu à la fonderie de Liége, a fait disparaître ces inconvénients.

Principe sur lequel est fondée la construction de la machine à tourner les globes.

Nous avons dit à l'occasion des tours qu'on obtient une sphère :

1° Si l'outil se meut suivant une circonférence de cercle.

2° Si l'axe de rotation de l'objet à tourner est parallèle au plan de ce cercle.

3° Si l'axe de rotation de l'objet intercepte la droite, menée au centre du cercle décrit par l'outil, perpendiculairement à son plan.

De ces conditions doit nécessairement résulter une sphère. En effet, l'outil dans chacune de ses positions sur la circonférence qu'il parcourt, creuse un sillon circulaire à la surface de l'objet tournant entre les pointes du tour : tous les sillons ont leurs plans perpendiculaires à l'axe de rotation, et s'appuient sur la circonférence du grand cercle parcouru par l'outil. La génération de la surface, produite par l'ensemble des sillons circulaires, satisfait donc à ce que la géométrie enseigne pour la sphère.

Description de la machine à tourner les globes.

La machine à tourner les globes se compose de deux parties principales, l'une qui procure à l'outil un mouvement circulaire sur un plan horizontal, l'autre qui produit la rotation du globe autour d'un axe horizontal.

Pour obtenir le mouvement circulaire de l'outil, on fixe la boite porte-couteau sur une semelle en fonte, la *glissière*, mobile autour d'un tourillon inférieur sur une plate-forme circulaire en fonte. On fait tourner la glissière autour de son tourillon, à mesure que l'outil entame le métal à la surface du globe.

Quant au globe, il est serré entre les pointes d'un tour ordinaire dont il reçoit le mouvement de rotation.

La *glissière* est placée sous le globe, et présente des parties en retour, pour mieux emboîter la circonférence de la plate-forme circulaire. Elle fait corps avec un tourillon entrant dans une ouver-

ture percée au centre de la plate-forme, et a un *pignon denté* engrenant avec une *cremaillère circulaire*, ménagée sur le pourtour de la plate-forme.

L'appareil est placé horizontalement sur la table supérieure d'une *caisse en fonte*, qui repose elle-même sur le banc, entre les deux poupées d'un tour ordinaire.

Des *vis de pression* horizontales, adaptées sur les bords de la caisse en fonte, assurent la position de la plate-forme circulaire relativement à l'axe du tour; des boulons à écrous relient les diverses parties du système.

Le *globe brut* est vissé sur un mandrin ou cylindre fileté en fer forgé entrant dans l'œil du projectile. Au pôle opposé il présente un *jet cylindrique*.

Les *trous de centre* sont percés aux extrémités du mandrin et du jet. Le mandrin est soutenu par la *pointe fixe* du tour, et le jet par la *pointe mobile*. La longueur du mandrin est telle, que le centre du vide intérieur du globe monté sur le tour, se trouve sur la verticale passant par le centre de la plate-forme circulaire.

La *boîte porte-outil* présente à sa partie supérieure une *boîte coulante* ou porte-lame à coulisses, qu'on fait avancer ou reculer à l'aide d'une vis de pression et de rappel.

Le *couteau* est fixé sur la boîte coulante.

La *boîte porte-outil* est reçue par sa base, dans une rainure ménagée à la partie supérieure de la *glissière* suivant sa longueur, ce qui permet de rapprocher ou d'éloigner la boîte porte-outil de l'axe du tour, selon la grosseur des sphères à tourner.

Description des figures concernant la machine à tourner les globes.

Figure 1 (planche XXX) Plan de la machine.

Figure 2. Elévation.

Figure 3. Coupe par un plan suivant *A B* (fig. 1), échelle amplifiée.

Figures 4 et 5. Plan et coupe de la plate-forme circulaire en fonte.

Figures 6, 7 et 8. Elévation, plan et vue de côté de la glissière.

a b cd (fig. 8) Rainure suivant la longueur de la glissière, pour loger la base de la boîte porte-outil.

Figures 9 et 10. Elévation et plan de la caisse en fonte, supportant l'appareil entre les deux pointes du tour.

C F D (fig. 3). Boîte porte-couteau.

L M Boîte-coulante.

F' E Vis de pression et de rappel de la boîte coulante *L M*.

F F' Couteau fixé sur la boîte coulante *L M*. Ce couteau, est dirigé vers le centre de la sphère ; mais il est incliné sur l'horizon, afin d'abaisser la partie supérieure de la boîte porte-couteau, et lui permettre le passage sous le *mandrin* et le *jet de coulée* qui maintiennent le globe entre les pointes du tour.

A B Glissière.

G G Tourillon de la glissière engagé dans une cavité percée au centre de la plate-forme circulaire.

B Tête percée de l'arbre du pignon, engrenant avec la crémaillère de la plate-forme circulaire.

Le pignon sert à faire tourner la glissière sur la plate-forme, à mesure que le tournage avance.

H H Caisse en fonte placée sur le banc entre les deux poupées du tour, et supportant la plate-forme circulaire.

I I (fig. 3) Plate-forme circulaire en fonte, fixée sur la caisse *H H*, par des boulons à tête noyée.

K K Vis de pression pour centrer la plate-forme. Il y en a quatre.

L L (fig. 1 et 2) Poupée à pointe mobile.

M M (fig. 1 et 2) Poupée à pointe fixe.

A B (fig. 1 et 2) Glissière. Deux tambours en tôle sont adaptés de chaque côté de la glissère, et recouvrent la plate-forme circulaire, pour empêcher les limailles de tomber sur les dents de la crémaillère. Pour l'intelligence du texte, le dessin (fig. 1) ne représente qu'un de ces tambours, et permet de voir une partie de la plate-forme, du côté où il n'y a pas de tambour.

N (fig. 1 et 2). Globe avec un mandrin vissé dans l'œil et un jet de coulée au pôle opposé, soutenu entre les pointes du tour.

O O (fig. 1) Boîte porte-outil.

H H (fig. 1 et 2) Caisse en fonte soutenant l'appareil.

I I (fig 1 et 2). Plate-forme circulaire.

Conditions géométriques de la machine.

La machine montée doit satisfaire aux conditions géométriques suivantes :

1° L'axe du tour doit être horizontal.

2° La plate-forme circulaire doit être de niveau.

3° La verticale passant par le centre de la plate-forme doit rencontrer l'axe du tour.

ARTICLE II.

TOURNAGE DES GLOBES.

(Planche XXX.)

Les globes sont coulés avec un excédant d'épaisseur d'environ $0^m,015$. On taraude l'œil pour y visser l'extrémité filetée d'un mandrin. Le bout libre de ce mandrin est de forme carrée.

Au pôle opposé à l'œil se trouve un gros jet cylindrique. (Fig. 11.)

Il faut *centrer le globe*, c'est-à-dire creuser aux extrémités du jet et du mandrin deux petites cavités coniques, les trous de centre, suivant une droite passant par le centre du globe. Le centrage se fait d'une manière analogue à celui des canons, en fesant tourner le globe sur des appuis ou coussinets de bois, placés sous le jet et sous le mandrin, et cherchant les points de centre qui coïncident avec l'axe du globe.

Le globe est ensuite serré entre les pointes du tour qu'on fait entrer dans les trous de centre.

Pour entraîner le globe, dans le mouvement de rotation de la poulie motrice, on enveloppe par un manchon le bout carré du mandrin et la partie carrée de l'arbre de la roue motrice qui précède la pointe fixe.

Un doguin fixé sur le mandrin du globe et une griffe adaptée à l'arbre du tour rempliraient le même objet.

Il faut commencer le tournage par le burin en grain d'orge (fig. 12), et creuser sur l'équateur du globe une première entaille ou gorge de $0^m,003$ à $0^m,006$ de profondeur, et s'assurer pendant cette opération que la plate-forme est bien centrée, relativement à l'axe du tour.

A cet effet on repère, à la partie supérieure de la boîte porte-outil, la position de la boîte coulante armée du burin, lorsque celui-ci est au fond de la gorge qu'il creuse. Le burin est ensuite retiré au moyen de la vis de rappel; on fait exécuter une demi révolution à la glissière, et on présente de nouveau le burin à la gorge.

Si la plate-forme circulaire est bien centrée, les remarques faites sur la *boîte coulante* et sur la boîte porte-outil doivent coïncider.

La position de la plate-forme, ayant été vérifiée et corrigée au

besoin, on remet la glissière dans sa place primitive, et on continue le dégrossissage en fesant mordre le burin de côté; on incline à cet effet, de plus en plus la glissière vers l'axe du tour à chacune des révolutions du globe.

Le dégrossissage se fait sans difficulté, avec le burin en grain d'orge, lorsque la fonte n'a pas un excès de dureté. Mais la surface du projectile est recouverte le plus souvent d'une croûte de fonte blanche imprégnée du sable du moule, qui use promptement le tranchant du couteau. Dans ce cas, on emploie le burin à double tranchant recourbé (fig. 13), qui entame le métal en dessous de la croûte, la soulève et la fait tomber en morceaux.

On est souvent obligé d'adoucir la fonte. A cette fin, on chauffe le globe au rouge blanc, (évitant la chaleur de fusion) soit dans un fourneau à réverbère, soit dans un feu de forge, et on le laisse refroidir lentement au milieu des charbons allumés, dont la combustion cesse d'être activée.

Il faut dégrossir le globe tout entier, à l'exception des parties où se trouvent le mandrin et le jet. L'opération est ensuite répétée une ou deux fois, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que $0^m,0005$ à prendre.

La mise aux dimensions exactes et le polissage sont ensuite exécutés avec le burin (fig. 14), dont le large tranchant est propre au polissage.

Il faut vérifier de temps en temps, avec le compas courbe ou la double équerre à coulisses, si le globe a les dimensions voulues et si tous ses diamètres pris en divers sens sont égaux.

Le globe étant achevé à un déci-millimètre près, on l'amène aux dimensions prescrites, en frottant sa surface, pendant qu'il est encore sur le tour, avec de l'émeri imbibé d'eau ou d'huile, ce qui lui donne en même temps du poli et du lustre.

Après ces opérations, on détache le globe des pointes du tour, on dévisse le mandrin, on coupe le jet cylindrique au burin, et on achève cette partie de la surface qui n'a pu être tournée.

ARTICLE III.

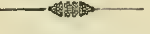
MACHINE FRANÇAISE POUR LE TOURNAGE DES GLOBES D'ÉPROUVETTE.

En France, il existe un autre appareil pour le tournage des globes d'éprouvette. Il consiste en un tour à deux pointes entre lesquelles le globe est suspendu, et en une demi-lunette ou cadre

vertical porte-outil, tournant sur un axe également vertical et passant par le centre du projectile (Fig. 17, planche XXXI).

Le couteau est fixé sur le cadre à la hauteur du centre du globe. On fait tourner lentement le cadre autour de son axe vertical, et on lui fait ainsi parcourir 180°. Pendant ce mouvement le globe tourne sur lui-même, et le couteau creuse à sa surface, une suite de sillons circulaires, perpendiculaires à son axe de rotation, et passant tous par le grand cercle horizontal décrit par le couteau autour du centre du globe.

Le lieu géométrique formé par l'ensemble des sillons est une sphère.



LIVRE II.

ACHÈVEMENT DES BOUCHES A FEU EN FONTE ET EN BRONZE.

CHAPITRE I.

ACHÈVEMENT DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

ARTICLE I.

CISELAGE.

Parties des bouches à feu en fonte qui doivent être ciselées.

Après les opérations de tour, il y a des parties qui doivent être achevées au ciseau et à la lime.

Ce sont :

1° La partie de la surface cylindrique des embases, interceptée par le corps de la pièce ; le travail de la machine à tourner les tourillons ne pouvant être conduit plus loin.

2° Pour toutes les bouches à feu tournées, les zônes du corps de la pièce où sont les embases et les autres saillies : ces saillies empêchent l'action du tour ordinaire, et le tournage à l'anglaise laisse des parties inachevées.

3° Enfin les parties saillantes, coulées avec un excédant d'épaisseur pour avoir plus de précision après l'ajustage, telles que les champs de lumière, les visières, les crocs de brague, etc.

Outils de l'ajusteur de canons.

Les outils de l'ajusteur de canons sont peu variés à cause de la simplicité des formes à obtenir, mais ils doivent avoir de la force et de la dureté : c'est pourquoi les outils sont en acier fondu, excepté les marteaux dont la tête et la panne sont en acier ordinaire et le corps en fer forgé.

Ces outils sont de trois espèces.

1° Le *marteau* (fig. 1, planche XXXI) du poids de 1,5 kilog environ.

2° Les *ciseaux*. Outils tranchants à deux biseaux destinés à pénétrer dans le métal, et à en détacher des parties sous le choc du marteau ; ils sont de deux sortes.

Le *bec d'âne* ou *bédane* (fig. 2 et 3). Ciseau à tranchant étroit pris sur l'épaisseur de la lame, servant au dégrossissage des objets.

Le *ciseau plat* (fig. 4) : dont le tranchant est pris sur la largeur du burin. Ce ciseau sert à l'égalisage et à l'achèvement des surfaces.

3° *La lime*. Outil d'acier, plus ou moins long et étroit, d'une forme plate, ronde ou triangulaire, dont la surface présente une multitude de petites dents formées par des entailles qui se croisent. Les dents pénètrent dans le métal sous la pression de la main et en détachent des particules dans le mouvement de va et vient qu'on imprime à l'outil.

Les limes prennent différents noms : on les appelle *rudes*, *batardes*, *demi douces* et *douces*, suivant la profondeur de leurs dents.

Les limes rudes ont environ 36 à 38 dents ou pointes par centimètre carré de surface.

Les limes batardes	»	70 à 80	»	»	»
» demi-douces	»	140 à 160	»	»	»
» douces	»	280 à 320	»	»	»

Les limes affectent différentes formes. Celles carrées se nomment carrelets ou carreaux selon leur grosseur. Il y a des limes plates (fig. 5), demi plates (fig. 6), demi-rondes (fig. 7), triangulaires nommées tiers point, en queue de rat, en feuille de sauge, etc.

Dans le commerce, on désigne les *limes rudes* suivant leurs formes et d'après leur nombre pour former un paquet du poids d'environ 1 kilogramme. Ainsi on a des limes rudes plates de 1 ou 2

au paquet, des limes rudes demi-rondes de 1 ou 2 au paquet, etc. Cette désignation ne s'appliquant *qu'aux limes rudes*, on dit simplement *lime plate ou demi-plate, etc., de 1, 2 ... au paquet* : et il est alors sous-entendu qu'il s'agit de limes rudes.

Les autres limes plates, demi-plates, demi-rondes, etc., se désignent d'après *leur espèce et leur longueur* : exemples, limes batardes de 12 pouces, demi-douces de 10 pouces, etc.

Il y a encore des limes d'une taille très-fine destinées aux ouvrages délicats, à ceux d'horloger, par exemple, mais dont les ajusteurs de canons ne se servent pas.

Les limes doivent avoir une taille régulière ; elles doivent être exemptes de crevasses, de fentes, de boursoufflures, de retraits inégaux et de courbure provenant de la trempe ; elles doivent mordre vivement l'acier fondu non trempé, sans s'émousser.

Les limes rudes et batardes servent au dégrossissage, c'est-à-dire, à faire disparaître les inégalités produites par les coups de burin. Les limes demi-douces et douces servent au polissage des objets : les limes en queue de rat à limer dans les parties arrondies, etc.

Notions générales sur le travail du ciselage.

Le ciselage comprend deux parties, le *dégrossissage et le fini.*

Dans le dégrossissage, l'ajusteur façonne approximativement la surface que les objets doivent avoir; dans le fini, au contraire, il s'attache à obtenir les formes exactes, et à donner aux surfaces le poli convenable.

Pour dégrossir l'ajusteur creuse, à l'aide du marteau et du bec d'âne, des sillons profonds et serrés qu'il dirige suivant la génératrice de la surface à enlever. Lorsqu'il s'agit de surfaces développables, comme le cylindre, le cône, ces génératrices peuvent être droites, ou suivant la ligne de plus grande courbure. Les sillons en lignes droites sont les plus faciles à conduire et les plus usuels : mais si l'on craint d'entamer le corps de la pièce, il est préférable de choisir l'autre sens ; parce que la courbure du sillon, qui est généralement convexe, fait glisser le ciseau et empêche les éclats d'être trop gros.

Le métal restant entre chaque sillon, est ensuite détaché au moyen d'un ciseau plat, dont le tranchant est assez grossier.

L'ouvrier vérifie de temps en temps la direction de ces sillons :

avec une règle, s'il s'agit d'une surface développable, et avec un gabarit, dont les extrémités sont appuyées sur des parties déjà terminées.

On procède d'une manière analogue pour les surfaces à double courbure, c'est-à-dire, qu'on les vérifie au moyen de deux gabarits posés dans des directions ordinairement rectangulaires entre elles.

Pour finir le dégrossissage, l'ajusteur enlève, avec le ciseau plat, les parties saillantes laissées par le travail précédent, puis il se sert de la tête du marteau pour abattre les petites aspérités à la surface du métal.

Ces aspérités étant refoulées pénètrent plus ou moins dans les petites cavités de la surface, qui prend alors un premier degré de netteté.

Le fini se fait avec la lime, qui adoucit les surfaces, et avec des ciseaux fins propres à achever les détails.

Pendant ces travaux l'ajusteur vérifie fréquemment son ouvrage avec la règle, avec des gabarits, des équerres, des lunettes, des compas courbes ou droits, etc., etc.; variant ses instruments vérificateurs suivant la nature des surfaces et leur degré d'avancement.

Moyens employés par l'ajusteur pour se guider dans son travail.

Les méthodes enseignées par la géométrie descriptive pour la génération des surfaces, sont appliquées instinctivement par l'ouvrier.

Les surfaces sont considérées comme engendrées par le mouvement d'une courbe génératrice, glissant parallèlement à elle-même sur une courbe *conductrice*. Partant de ce principe, l'ajusteur emploie des *gabarits*, ayant l'un la forme de la courbe génératrice, et l'autre la forme de la courbe conductrice.

Lorsqu'il s'agit du plan, les deux gabarits se réduisent à la règle : s'il est question d'une surface sphérique, les gabarits sont une portion d'arc de cercle ; pour les surfaces cylindriques ou coniques, les gabarits consistent dans la règle, et dans deux gabarits profilés suivant des sections extrêmes de ces surfaces. Le plus souvent ces sections sont indiquées par les parties tournées du corps de la pièce. Dans ce cas la règle suffit. Les équerres servent à conduire des génératrices rectilignes perpendiculaires à une base donnée.

Le niveau et le fil à plomb sont utilisés pour trouver la verticale et l'horizontale. La position des diverses parties à ajuster, étant déterminée d'après les dessins de la pièce, relativement au plan diamétral perpendiculaire à l'axe des tourillons, on voit qu'il y a avantage pour l'ouvrier, à disposer la pièce de manière que l'axe de l'ame soit horizontal, et celui des tourillons horizontal ou vertical. Le trou de portée servant à retrouver un des points extrêmes de l'axe de l'ame, on ne détache le faux-bouton qu'après l'achèvement de la pièce.

Ciselage des embases.

Les embases des pièces de fonte sont circulaires. Leur contour est indiqué par le travail de la machine à tourner les tourillons; l'ouvrier dégrossit avec le bec d'âne en creusant des sillons suivant ce contour, perpendiculairement à la tranche, jusqu'à leur rencontre avec le corps de la pièce, et fait ensuite disparaître le métal laissé entre ces sillons avec le ciseau plat. Il égalise la surface avec ce ciseau, rabat les aspérités avec la tête du marteau et achève en employant la lime. Il vérifie de temps en temps son ouvrage avec l'équerre, dont il applique un des côtés contre la tranche de l'embase, et avec une portion d'arc de cercle.

L'ouvrier, tout en évitant soigneusement d'enlever trop de métal, veille à ce que les lignes d'intersection de l'embase avec le corps de la pièce, aient la forme et la régularité voulues. Il en marque nettement le contour, en opérant avec le burin à tranchant fin et avec des limes de différentes grosseurs.

Ciselage de la zône, du corps des pièces tournées, comprise entre les embases.

Le dégrossissage se fait, en creusant des sillons, suivant les génératrices rectilignes de la portion interceptée du corps de la pièce. Le tournage de la bouche à feu ayant été fait à droite et à gauche des embases, l'ajusteur emploie ces parties tournées en guise de gabarit, pour appuyer les extrémités de la règle, avec laquelle il vérifie son travail. Le reste du ciselage ne présente aucune particularité.

Ciselage des visières.

Les canons à bombes, de certains modèles, ont une visière sur le renflement du bourrelet. Il est avantageux de tourner la pièce, et d'y adapter ensuite cette visière qu'on fait ordinairement en fer forgé.

L'ajusteur indique sur le bourrelet le contour de la base de la visière : et il creuse, parallèlement à la surface du bourrelet, et sur une profondeur de 5 à 6 millimètres, une cavité propre à recevoir cette base.

La partie inférieure de la visière est ensuite façonnée de manière à entrer dans son logement, et l'ouvrier s'assure du contact des surfaces en enduisant l'une d'elles de sanguine, qui doit déteindre également sur l'autre surface après le contact.

La visière est fixée par deux vis, dont les bouts filetés, reçus dans le métal du bourrelet, ont leurs têtes noyées en partie dans la visière et sont ensuite achevées au burin.

L'ouvrier façonne le dessus de la visière et vérifie son contour avec un gabarit. Il emploie dans le même but plusieurs autres profils pour déterminer les diverses courbures de la surface à obtenir.

Coupe du faux-carré et ciselage du bouton.

Le bouton ne doit s'achever que lorsque la lumière est percée, afin de conserver le trou de portée, qui facilite la recherche de l'axe de la pièce et de ses plans diamétraux. Mais on profite du moment où la pièce est encore sur le banc à forer ou sur le tour, pour faire avec un burin à support fixe, une entaille ou rainure au faux-bouton à une petite distance du derrière du bouton. Le fond de cette entaille a une forme légèrement tronconique, la grande base vers la pièce, pour empêcher qu'une partie du bouton ne soit enlevée avec le carré, lorsqu'on le détache à l'aide de coins enchassés dans la rainure.

Il faut avoir également soin de faire la rainure assez profonde, pour que le métal restant ait moins de diamètre que le collet du bouton, qui sans cela se romprait sous les efforts exercés sur le carré du faux-bouton.

Après le perçage de la lumière, on opère la rupture du faux-bouton, ou de la queue, comme disent les ouvriers, par le moyen

indiqué, et on arrondit la partie restante, en creusant d'abord des sillons circulaires avec le bec-d'âne, et achevant la surface convexe du derrière du bouton par les procédés déjà expliqués.

L'ajusteur vérifie de temps en temps son travail avec des profils, et s'assure qu'il laisse, en arrière de la plate-bande de culasse, la longueur nécessaire au bouton.

ARTICLE II.

GRAVURE DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

La gravure comprend le poids, le lieu et l'année de la coulée. En Belgique, ces indications doivent se trouver, pour les nouvelles pièces, sur la tranche de la bouche.

Il serait fort utile d'y ajouter le calibre. Car le parasoufflc que l'on rencontre à la bouche de beaucoup de pièces de côte, fesant paraître le diamètre de l'ame plus fort qu'il n'est réellement, peut induire en erreur.

Le graveur a des gabarits en tôle de fer ou de laiton, dans lesquels les inscriptions sont découpées. Il recouvre la surface à graver de craie ou de sanguine délayée dans de l'eau qu'il laisse ensuite sécher. Il applique le gabarit à la place voulue, et il en reproduit les contours sur la pièce à l'aide d'une pointe d'acier.

Les lettres doivent être en creux ou en relief selon les modèles adoptés. En Belgique, les lettres sont creuses.

Le graveur les découpe à l'aide d'outils légers, faciles à conduire. S'il faut produire les lettres en relief, il enlève le métal en dehors de leurs contours, de sorte qu'elles finissent par être en saillie.

Lorsqu'on exige que certaines parties, formant le fond sur lequel les lettres sont en relief, soient ce que l'on appelle *mates*, c'est-à-dire, présentent une foule de petites aspérités d'égales hauteurs, on se sert de poinçons particuliers nommés *matoirs*, dont on transporte les empreintes sur la pièce sous le choc du marteau.

Mais généralement la gravure *mate* ne se fait que sur les pièces de bronze.

ARTICLE III.

DES LUMIÈRES DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

Lumière percée dans le métal de la bouche à feu.

En Belgique, comme chez plusieurs autres puissances, la lumière des bouches à feu en fonte est percée dans le corps de la pièce.

Nomenclature de la lumière.

La lumière comprend trois parties :

1° Le *calice*, partie évasée et cylindrique aboutissant à la surface extérieure (0^m,008 de diamètre et 0,025 de profondeur).

2° Le *raccordement* de forme tronc-conique unissant le calice à la partie inférieure de la lumière. (Hauteur du raccordement 0^m,020 : rayon de l'arc de cercle du raccordement, 0^m,140).

3° Le *canal* ou la *lumière proprement dite*, aboutissant à l'ame. (Diamètre du canal 0^m,005).

Danger de mettre un grain de lumière aux pièces de fonte.

Les pièces de bronze ont un excès de ténacité, qui permet d'y creuser le logement du grain sans crainte de les voir éclater dans le tir ; c'est plutôt par un manque de dureté qu'elles périssent. Il n'en est, malheureusement, pas de même des pièces de fonte : celles de gros calibre principalement ont, tout au plus, le degré de résistance voulue, et aucun indice extérieur ne peut en faire prévoir la rupture inopinée.

En perçant dans la fonte le logement du grain, on affaiblit évidemment la bouche à feu, et ce au fond de l'ame où la tension des gaz est la plus forte. Les expériences de Lafère en 1835 en donnèrent la preuve. Il y eut neuf canons de 24 essayés avec la lumière percée dans la fonte et pas un n'éclata. Ils soutinrent tous 800 coups : quelques-uns tirèrent même 1200 coups. Jusqu'à 600 coups, les résultats du tir des canons en fonte furent sensiblement les mêmes que ceux obtenus ordinairement avec les canons en bronze munis d'un grain de lumière ; cependant l'évasement de l'orifice intérieur de la lumière des canons en fonte allait jusqu'à 25 et 30 millimètres après 800 coups.

Le tir des trois canons de 24 en fonte avec grains de lumière, éprouvés à Lafère, ne fut pas aussi satisfesant. Deux canons écla-

tèrent : l'un au 355ᵉ coup et l'autre au 751ᵉ ; un seul soutint 800 coups.

Fissures produites dans le tir et aboutissant à la lumière des pièces en fonte.

Le tir produit des fissures à l'orifice intérieur de la lumière des pièces en fonte, suivant trois lignes dirigées en avant vers le renfort, et transversalement à droite et à gauche suivant le raccordement de l'ame avec le fond. Ces fissures s'observent dans tous les canons de fonte, que *l'ame soit à fond plat ou à fond hémisphérique.* Elles ne peuvent être évitées par l'emploi d'un grain, leur existence ayant été constatée, après un tir plus ou moins prolongé, sur toutes les pièces de fonte, avec ou sans grain de lumière.

Le déculassement des canons en fonte a principalement lieu avec ceux à fond plat ; il est attribué à la dilatation du métal autour de la charge, par suite de la chaleur produite dans le tir. Le fond de l'ame s'échauffe moins que le pourtour, à cause de la masse de métal que présente la culasse. Ce surcroît de métal en facilitant l'écoulement du calorique, a pour effet d'abaisser la température de la paroi, au fond de l'ame. De ces températures inégales résultent des dilatations différentes, et par suite des fissures au raccordement de l'ame avec le fond. La forme la plus avantageuse pour prévenir ces fissures, est celle qui permet l'allongement du fond de l'ame ; il est évident que si au lieu d'un fond plat, l'ame se termine par une courbure hémisphérique ou elliptique, par exemple, on ménagera la transition entre la masse au fond de l'ame, et celle au pourtour de la charge, et on rendra plus facile l'accroissement du calibre à la naissance du renfort. C'est, du reste, une question sur laquelle nous reviendrons.

Les fissures autour de la lumière ne peuvent être attribuées uniquement à la forme du fond de l'ame ; car, s'il en était ainsi, elles devraient exister sur tout le pourtour de l'ame et à la même distance du fond que la lumière, ce qui n'a pas lieu. On ne peut non plus leur assigner pour cause l'action mécanique ou chimique des gaz s'échappant par la lumière, puisqu'on les observe même aux pièces pourvues d'un grain. Les fissures sont le résultat de la chaleur produite par la fuite des gaz au travers de la lumière. Cette chaleur provoque une dilatation plus forte en cette partie, augmente la dilatation à la partie supérieure du raccordement de

l'ame avec le fond, et détermine ainsi les fissures observées.

La fonte n'est pas aussi fusible que le bronze, se ramollit moins par la chaleur produite dans le tir, et ne se décompose pas aussi facilement par l'action chimique des gaz développés dans la combustion de la poudre, aussi les lumières percées dans la fonte, résistent-elles d'une manière satisfesante à un tir prolongé. Leur durée, évaluée à plus de 600 coups, même pour les gros calibres, se prolonge souvent jusqu'à plus de 1000 coups.

En Belgique, on met les pièces de fonte hors de service, lorsque l'évasement de la lumière permet l'introduction d'une règle plate de 15 millimètres de largeur, et les pièces ainsi rebutées ont fourni une assez belle carrière. Les chances de rupture, avant ce terme, étant faibles (pour les petits et moyens calibres au moins), on trouve une sorte de garantie, contre l'éclatement inopiné des bouches à feu en fonte, en réglant la durée de leur service d'après l'état de la lumière.

Nous nous occuperons ailleurs des causes de rupture autres que celles annoncées par les dégradations visibles.

Tout incomplète que soit cette garantie, il faut l'accepter; et renoncer à l'odieuse économie que l'on pourrait faire en prolongeant le service des pièces de fonte, jusqu'à ce que la chance de leur explosion devienne presque certaine. D'ailleurs, la raison d'état s'oppose à l'emploi de bouches à feu parvenues à la limite de leur durée, car, pouvant éclater devant l'ennemi, elles mettraient la défense en péril.

ARTICLE IV.

PERÇAGE DES LUMIÈRES.

Dispositions communes à tous les appareils à percer la lumière.

Les appareils à percer la lumière sont variés, mais ils ont pour dispositions communes :

1° *Que le foret doit être dans le prolongement de la lumière à percer.*

2° *Que le foret doit passer par l'orifice extérieur de la lumière; orifice dont on marque le centre d'un coup de pointeau.*

Description de l'appareil en usage à la fonderie de Liége.

(Planche XXXII.)

L'appareil en usage est un de ceux décrits par Monge. Il se compose :

Du banc sur lequel la bouche à feu est couchée.

D'un support avec règle à crémaillère servant à conduire et à pousser le foret.

La pièce est disposée sur le banc, de manière que l'axe de l'ame soit horizontal et celui des tourillons vertical. Le foret placé horizontalement, suivant la direction voulue, est mis en mouvement par un archet, tandis qu'une règle à crémaillère le pousse dans la direction de la lumière, à mesure que le forage avance.

Le banc est formé de deux longerons ou longs côtés en fer forgé, reçus dans des entailles pratiquées sur deux traverses ou supports en bois. Ces longerons sont reliés aux traverses par des calles ou coins en bois chassés dans les entailles.

Deux entretoises mobiles en fonte avec montants à coulisses, et colliers de fonte ou de bois destinés à supporter la pièce, peuvent glisser sur les longerons en fer, et être placées à la distance convenable, suivant la longueur de la bouche à feu. Ces entretoises ont des pattes percées de rainures pour emboîter les longs côtés du banc.

Le support à crémaillère ou machine à percer proprement dite, comprend trois parties :

1° Le support en bois avec crémaillère et pignon en fonte.

2° La caisse en fonte, dont la partie supérieure sert de plate-forme pour fixer le support à crémaillère.

3° Les pièces de bois formant la base de l'appareil.

La règle à crémaillère glisse à frottement doux dans deux anneaux carrés, dans le sens de sa longueur.

Un pignon avec manivelle engrenant la crémaillère, donne le moyen à l'ouvrier de retirer le foret ou de le faire avancer vers la pièce, avec une pression convenable déterminée par l'action plus ou moins forte de la main.

Le support de la crémaillère est attaché par un boulon à la plate-forme de la caisse en fonte. A cet effet, la plate-forme est percée d'une rainure parallèlement au banc, dans laquelle passe le boulon ; ce qui permet de varier la hauteur du support à crémaillère, sa position et sa direction relativement à l'axe de la pièce.

On place des calles en bois entre la plate-forme et le support à crémaillère, si celui-ci doit être élevé.

Les outils dont se sert le perceur de lumières sont : l'archet (fig. 5), et le foret en langue de carpe (fig. 5), taillé en biseau des

deux côtés du tranchant, afin de pouvoir mordre quel que soit le sens du mouvement de rotation qu'on lui imprime.

Fig. 1 Plan de l'appareil à percer les lumières.

Fig. 2 Vue et élévation du côté de la bouche de l'ame.

A A , *B B* , (fig. 1) et *A* , *A* (fig. 2) Longerons en fer forgé ou longs côtés du banc , reposant sur deux traverses en bois.

C D , *C' D'* (fig. 1) et *C D* (fig. 2) Entretoises en fonte , mobiles sur les longs côtés du banc. Ces entretoises sont munies de montants à coulisses, entre lesquels on pose les colliers qui soutiennent la bouche à feu.

N O (fig. 1) Règle d'ame placée de niveau sur le corps de la pièce , indiquant la projection horizontale de l'ame. Cette règle est échancrée pour le passage du tourillon.

a b (même fig.) Ligne tracée sur la règle d'ame , marquant l'axe de la lumière supposée prolongée dans l'ame.

P Q , *R S* (fig. 2) *Traits carrés* , ou traces sur la tranche de la bouche , de deux plans diamétraux de la pièce , l'un vertical et parallèle à l'axe des tourillons , l'autre perpendiculaire à cet axe.

E F (fig. 1 et 2) Règle à crémaillère placée horizontalement et dans le prolongement de la lumière.

I, *K* (fig. 1 et 2) Anneaux carrés guidant la règle à crémaillère.

IK (fig. 1) et *H I K Z* (fig. 2) Support de la crémaillère.

y u (fig. 2) Caisse en fonte.

y z (fig. 1 et 2) Plate-forme à la partie supérieure de la caisse en fonte.

v v (fig. 1) Rainure de la plate-forme permettant de varier la place du boulon *v* (fig. 2) qui relie le support de la crémaillère à la plate-forme.

T U (fig. 1 et 2) Pièce de bois soutenant tout l'appareil , et reçue dans des entailles pratiquées sur une semelle également en bois. Des coins servent à affermir la position de la pièce *T U* , et à l'élever à la hauteur nécessaire , pour que l'axe du foret se trouve au niveau de l'axe de la lumière à percer.

Détermination du centre de la lumière à la surface de la pièce.

Pour déterminer le centre de la lumière à la surface extérieure , l'ouvrier place la bouche à feu sur le banc à percer , de sorte que les axes de l'ame et des tourillons soient horizontaux ; et il forme

le trait carré sur la tranche de la bouche. Il emploie ensuite le procédé déjà décrit, à l'occasion du centrage des tourillons, pour indiquer, à la partie supérieure de la pièce, la trace du plan vertical passant par l'axe de l'ame, trace qui doit contenir le centre cherché de la lumière. Il ne s'agit plus que de prendre sur cette trace, un point distant de la plate-bande de culasse, de la quantité voulue, pour avoir le centre de l'orifice extérieur de la lumière.

On marque ce point d'un coup de pointeau, et on le prend pour centre d'un ou deux petits cercles, qu'on décrit sur la pièce avec le compas.

Ces cercles servent à vérifier si le foret ne dévie pas à l'origine du travail.

Placement de la bouche à feu pour le perçage de la lumière.

On fait ensuite faire un quart de révolution à la pièce, de manière que l'axe des tourillons devienne vertical, et que l'axe de l'ame reste horizontal, et on dispose le support à crémaillère pour se mettre en mesure de commencer le forage.

Vérification de la direction du foret.

Il est essentiel que le foret ait une bonne direction. On s'en assure au moyen de la *règle d'ame NO*, (fig. 1, planche XXXII), placée ainsi que nous l'avons dit précédemment.

Le perceur de lumière prend un cylindre d'acier, dont il appuie une extrémité contre l'amorce de la lumière, et introduit l'autre extrémité dans une cavité au bout de la règle à crémaillère; cavité qui sert de logement au pivot du foret.

Dans cette position, il faut que le cylindre qui supporte le foret, soit horizontal et dans le plan vertical passant par la droite *a b* (fig. 1) indiquant sur la règle d'ame, la direction de la lumière. Il faut de plus que la direction de la règle à crémaillère, soit dans le prolongement du cylindre, et par conséquent de la lumière.

On s'assure donc à l'aide d'un niveau, que le cylindre est horizontal, ainsi que la règle à crémaillère; et l'on vérifie le parallélisme du cylindre et de la règle à crémaillère, avec l'axe de la lumière, au moyen de fils à plomb, qu'on laisse descendre d'une règle dirigée suivant l'axe de la lumière, et reposant par une extrémité sur la règle d'ame, et par l'autre extrémité sur le support à crémaillère.

Perçage de la lumière.

L'ouvrier enveloppe la poulie du foret de deux tours de la corde de son archet. Il fait entrer le pivot du foret dans la cavité percée à l'extrémité de la règle à crémaillère, et il place la pointe de la langue de carpe contre l'amorce de la lumière. Il appuie ensuite une main contre la manivelle du pignon, et de l'autre, il tient l'archet, avec lequel il fait tourner le foret. Il procède avec précaution, pour ne pas faire fléchir la tige, ce qui occasionnerait une déviation. Il s'assure que les tranchants ne s'émoussent point, que les buchilles se dégagent; et il vérifie à diverses reprises la direction de la lumière qu'il perce.

Quand l'épaisseur du métal est traversée, l'ouvrier s'assure de la bonté de son travail, par l'empreinte que fait une sonde, guidée par le canal, sur une règle d'ame introduite dans la pièce : cette empreinte devant être faite précisément à la place qui marque sur la règle d'ame, l'aboutissement de la lumière.

Le calice et le *raccordement* sont ensuite percés par un foret avec conducteur en avant, ayant le diamètre du canal.

ARTICLE V.

NOTIONS GÉNÉRALES SUR DIVERS MÉCANISMES EMPLOYÉS AU PERÇAGE DE LA LUMIÈRE. MACHINE A PERCER LES LUMIÈRES DE M. LE CAPITAINE THERSEN.

Avantage de l'appareil décrit à l'article précédent.

L'appareil décrit, à l'article précédent, pour le perçage des lumières, peut être employé en toutes circonstances, par l'assiégeant, par l'assiégé et en rase campagne; parce que ses éléments se trouvent partout ou ont des équivalents faciles à se procurer. Une vis de pression, une vis de pointage, par exemple, peut remplacer la crémaillère; une simple règle en bois, bien dressée avec contrepoids et poulie de renvoi, servira au même usage : toutes les forges de campagne renferment des archets, facilement composables au besoin avec d'autres matériaux que le fer; avec un petit morceau d'acier on formera le foret, etc., etc. Il est donc facile d'improviser un appareil à percer les lumières, et l'usage de celui que nous avons décrit, a l'avantage de familiariser les officiers avec l'emploi des ressources qu'offrent les circonstances.

Mais, dans une grande fabrication, il est utile de posséder des machines qui facilitent le placement de la bouche à feu, et assurent la direction du foret. Il en résulte une économie de temps et d'argent, et la bonté du travail ne dépend plus autant de l'habileté de l'ouvrier. Cependant nous ferons remarquer que par le procédé décrit, on peut percer deux lumières par jour, ce qui suffit à une très-grande fabrication, et que les lumières sont forées avec la précision désirable.

Les machines à percer les lumières se divisent en deux classes.

Nous avons déjà fait ressortir, à l'occasion du ciselage, les facilités que le niveau et le fil à plomb donnent à l'ouvrier pour trouver des directions soit verticales, soit horizontales; de là deux manières de disposer la pièce pour le perçage de la lumière : et par conséquent, deux systèmes de machines à percer : dans l'un les axes de la lumière et de l'ame sont horizontaux, dans l'autre, l'axe de la lumière est dans le plan vertical passant par l'axe de l'ame.

Machines où l'axe du foret est dans le plan horizontal passant par l'axe de l'ame. Machine à percer les lumières de M. le capitaine Thersen.

L'inclinaison du foret sur l'axe de l'ame peut s'obtenir, soit en variant sa position dans un plan horizontal, la pièce restant immobile, comme nous l'avons décrit pour le perçage de la lumière, soit en bougeant la pièce, le foret conservant la même place. De là deux genres de machines à percer les lumières, le foret étant horizontal.

Le moyen le plus simple de placer la bouche à feu, est de la déposer sur des chantiers à la hauteur et suivant la direction voulues.

On facilite ce placement en suspendant la pièce par la bouche, et par le trou de portée, sur des cylindres dont les axes sont à un même niveau. De cette manière, les axes de l'ame et de la lumière sont à une élévation invariable pour toutes les pièces, et l'axe du foret reste constamment dans un même plan horizontal. Nous avons donné un exemple de ce mode de suspension, en parlant du tournage des pièces avec le tour à cylindrer et à plate-forme (Article 5, chapitre IV du livre précédent, planche XXVII).

Nous ne nous occuperons pas de tous les mécanismes en usage ou proposés. Nous ferons, cependant, la description d'une machine à percer les lumières, imaginée par M. le capitaine Thersen, en 1848, et actuellement en construction à la fonderie de Liége.

La pièce (planche XLIII) est suspendue, par la bouche et par le trou de portée, sur des cylindres supportés, eux-mêmes, par deux poupées en fonte, ayant leurs axes sur une même droite horizontale comme nous venons de l'indiquer.

Les poupées sont mobiles sur un chemin de fer reposant sur un banc solide. L'axe de la pièce est donc toujours horizontal et à une hauteur constante.

Latéralement au banc est disposé le chariot porte-foret, dont les directrices sont horizontales et parallèles à l'axe du banc.

La partie supérieure du chariot consiste en un secteur circulaire, sur lequel est un arc de cercle divisé, le zéro de la division correspondant à un rayon perpendiculaire à l'axe du banc.

Concentriquement au secteur, et au milieu de sa largeur, est creusée une rainure ou coulisse circulaire, emboîtant une zône circulaire en fonte ou portion de jante, sur laquelle est fixé le support de la règle à crémaillère. Par cette disposition, on peut donner à la règle à crémaillère l'inclinaison voulue relativement à l'axe de la pièce; et on peut amener cette règle (à l'aide du chariot) à la place qu'elle doit occuper vis-à-vis de la bouche à feu.

A A (fig. 1 et 2) Banc avec directrices rectilignes en dos d'âne.

A' A', *A'' A''* (fig. 1) et *A'*, *A''* (fig. 2) Directrices du banc.

B B (fig. 1 et 2) Bouche à feu.

C C (fig. 1) Poupée à pointe mobile supportant la pièce par le trou de portée.

D D Poupée à pointe mobile soutenant la bouche à feu par un cylindre entrant dans l'ame. (Au besoin, on peut remplacer une des poupées ou toutes les deux par des chantiers placés sous la pièce.)

E E (fig. 1 et 2) Chemin de fer ou directrices du chariot parallèles à la longueur du banc.

F G Chariot porte-foret.

F F' (fig. 2 et 3) Semelle du chariot porte-foret, à coulisses rectilignes supérieures et inférieures. La semelle repose sur le chemin de fer *E E* (fig. 1 et 2).

H H (fig. 2 et 3) Coulisse rectiligne à la partie supérieure de la semelle *F F'*.

F'' (fig. 2) Vis sans fin adaptée à la semelle du chariot porte-foret.

G G' (fig. 2 , 4 et 5) Secteur circulaire formant une caisse vide à l'intérieur.

H H (fig. 4) Boîte coulante du secteur, emboîtée par la coulisse supérieure rectiligne de la semelle (*F F''* fig. 2), et reliée par un écrou à la vis sans fin de cette semelle.

N N' (fig. 4) et *N N*, *N' N'* (fig. 5) Coulisses circulaires supérieures.

M (fig. 2 et 4) et *M M* (fig. 1 et 5) Rainure circulaire pratiquée à la partie supérieure du secteur.

I I (fig. 4 et 5) et *I* (fig. 2) Arbre à manivelle du secteur, portant un pignon denté *K* (fig. 4 et 5).

L L (fig. 1, 2, 6 et 6bis) Support de la règle à crémaillère, emboîté par la coulisse circulaire du secteur.

M' M' (fig. 1 et 6bis) Zône circulaire ou jante à la partie inférieure du support de la règle à crémaillère, emboîtée dans la rainure supérieure du secteur. Cette jante présente inférieurement une crémaillère circulaire engrenant avec le pignon denté *K* (fig. 4 et 5).

O O (fig. 1, 2 , 6 et 6bis) Règle à crémaillère, guidée par des anneaux carrés, et mise en mouvement par un pignon denté et à manivelle *Q* (fig. 1, 2, 6 et 6bis).

Machines où l'axe du foret est dans le plan vertical passant par l'axe de l'ame.

Ces machines sont également de deux sortes. Dans la première, le foret jouit d'un mouvement de rotation autour d'un axe vertical, telles sont les machines à percer verticales, et la pièce est placée sous le foret suivant l'inclinaison qui convient à la lumière.

Monsieur Delby, régisseur de la fonderie à canons de Douay, a inventé une machine de ce genre, dans laquelle un support à doubles glissières permet de donner, avec beaucoup de facilité, la plus grande précision à la position du foret.

Dans l'autre espèce de machine, la bouche à feu est couchée horizontalement, tandis que le foret se meut sur l'axe d'un châssis, incliné suivant la direction de la lumière. Un arc de cercle gradué sert à vérifier l'inclinaison du châssis.

Ces deux systèmes de machines sont employés en France pour le forage de la lumière et du logement du grain.

ARTICLE VI.

MACHINE A DRESSER LA SEMELLE DE L'ÉPROUVETTE.

(Planche XLI.)

La surface inférieure de la semelle de l'éprouvette doit être parfaitement dressée et inclinée sous 45° avec l'axe de l'ame. Ce travail se fait, à la fonderie de Liége, avec une machine à dresser ou à raboter en termes de tourneur.

La machine se compose d'un chariot horizontal ou table en fonte, jouissant d'un mouvement de va-et-vient, sur lequel on fixe l'objet, la surface à dresser en haut. Un burin placé au-dessus de l'objet possède un mouvement rectiligne perpendiculaire à la direction suivie par le chariot, et parallèle à son plan.

Le burin, à chaque course du chariot, trace sur la surface à dresser un sillon rectiligne, et se déplaçant d'une petite quantité dans le mouvement de retour, creuse à la course suivante un nouveau sillon à côté du premier, et ainsi de suite. La surface à dresser est formée par une quantité de traces rectilignes, dont l'ensemble constitue le plan à obtenir.

L'appareil repose sur un banc solide possédant la stabilité nécessaire. Des coulisses rectilignes sont adaptées aux jumelles du banc pour recevoir, à frottement doux, les languettes qui règnent sur les côtés de la plate-forme, et en assurent la direction rectiligne dans le plan horizontal des coulisses.

Le chariot est relié à une vis motrice sans fin, par un écrou placé en dessous, entre les jumelles du banc. Cette vis possède un mouvement de rotation alternatif, ce qui procure au chariot un mouvement de va-et-vient.

Le burin est fixé à une boite qu'on fait glisser, à l'aide d'une vis

sans fin, sur une forte *traverse* en fonte bien dressée, et placée horizontalement entre deux montants verticaux. Ces montants sont assemblés au milieu de la longueur des jumelles, et assez écartés pour permettre le passage du chariot porteur de l'objet à façonner.

Cette *traverse* guidée par deux coulisses verticales ménagées dans les montants, peut être élevée ou descendue à volonté parallèlement à elle-même, de manière à arriver à une distance convenable de la surface à raboter.

Figure 1 Élévation de la machine, représentant un mortier placé pour le dressage de la semelle.

Figure 2 Plan de la machine seulement, l'éprouvette étant enlevée.

Figure 3 Vue de côté, l'éprouvette étant placée pour le dressage de la semelle.

Figure 4 Détail sur l'échappement, qui procure à la vis motrice un mouvement de rotation, alternativement dans un sens, et dans celui opposé.

Figure 5 Support en fonte pour fixer l'éprouvette sur la plate-forme, la semelle au-dessus.

A B (fig. 1, 2 et 3) Banc ou établi de la machine.

C D (fig. 1, 2 et 3) Chariot ou plate-forme en fonte.

K L (fig. 1 et 3) Montant vertical sur une des jumelles du banc.

K' L' (fig. 3) Montant vertical sur l'autre jumelle du banc, symétrique au montant *K L*.

A A', *B B'* (fig. 1 et 2) Arcs-boutants en fer du montant *K L*.

E (fig. 1) Boîte coulante reçue dans la coulisse de chacun des montants *K L*.

E E' (fig. 2 et 3) Traverse porte-burin en fonte, assujettie à chacune de ses extrémités à la boîte coulante *E* (fig. 1).

e e' (fig. 2) Vis sans fin fixée à la traverse porte-burin, servant à faire mouvoir la boîte porte-outil le long de cette traverse.

f (fig. 1) Manivelle servant à faire tourner la vis sans fin *e*.

G F (fig. 1) et *G F*, *G' F'* (fig. 3) Vis adaptées à la boîte coulante *E*, servant à amener, à la hauteur convenable, la traverse porte-burin.

m n (fig. 1 et 2) Pignon denté, creusé en écrou pour recevoir la vis *G F* (fig. 1).

o (fig. 1) et *o p* (fig. 2 et 3) Arbre horizontal muni de quelques filets de vis engrenant avec le pignon *mn* (fig. 1 et 2), et pourvu d'une

manivelle. En agissant sur l'arbre *o p*, on fait tourner les pignons *m n*, et par suite on élève ou on abaisse les vis *G F*, et la traverse porte-burin avec laquelle ces vis sont solidaires.

V (fig. 2 et 3) Vis motrice sans fin, placée entre les jumelles en dessus de la plate-forme *C D*. Cette vis traverse un écrou fixé à cette plate-forme, et lui communique un mouvement de va-et-vient, selon le sens du mouvement de rotation de la vis.

q r (fig. 2) Arbre horizontal, placé à une distance convenable en dessous de la plate-forme *C D*.

r Pignon denté.

s s' Roue motrice du système engrenant avec le pignon *r*, et recevant son mouvement de rotation du manège du tour par des organes intermédiaires, dont nous ne parlerons pas.

t t' (fig. 2) Pignon denté ajusté sur le prolongement de la vis motrice V.

u, *u'* (fig. 2 et 4) Pignons dentés, montés sur un manchon traversé par l'arbre *q r* (fig. 2).

Le manchon peut glisser sur l'arbre *q r*, mais il participe à son mouvement de rotation, à l'aide d'une languette adaptée à l'arbre et reçue dans une rainure pratiquée dans le manchon.

Les pignons *u* et *u'* sont assez écartés l'un de l'autre, pour qu'il n'y en ait jamais qu'un qui puisse engrener avec le pignon *t t'*. Il en résulte que le pignon *t t'*, et par suite la vis sans fin *V*, tourneront dans un sens ou dans celui opposé, selon le contact de ce pignon avec l'un des pignons *u* ou *u'*.

Tout le système du mouvement de va-et-vient repose donc sur un mécanisme propre à faire glisser le manchon portant les pignons *u* et *u'*, de manière à mettre successivement ces pignons en contact avec celui *t t'*.

On y parvient de la manière suivante.

x x' (fig. 4) Lunette embrassant le manchon, sur lequel sont montés les pignons *u u'*.

x (fig. 3 et 4) Extrémité d'un arbre horizontal placé sous la vis motrice sans fin V.

z, *z'*, *z''* (fig. 3) Branches courbes en fer, servant à faire tourner l'arbre *x*.

y y' (fig. 4) Partie d'arc denté, ou de crémaillère, uni par un rayon à l'arbre *x*.

a Pignon denté engrenant avec la crémaillère *y y'*.

b Masse en métal uni par une tige au pignon *a*.

En agissant sur une des branches z, z', z'' (fig. 3), on fait tourner l'arbre x (fig. 3 et 4).

L'arbre x en tournant (fig. 4) entraîne la lunette $x\,x'$, ce qui éloigne un des pignons u, u' de la vis motrice, et met l'autre en contact avec elle. Ce changement de contact produit le mouvement inverse de la vis motrice, et de là le mouvement de va-et-vient.

La crémaillère $y\,y'$, participant au mouvement de l'arbre x, fait tourner le pignon a; et par suite fait tomber la masse b, tantôt à droite, et tantôt à gauche du pignon a. Il en résulte que le mouvement de la vis et de la plate-forme persévère dans le même sens, tant que l'on n'agit pas sur l'une des branches z, z', z'' (fig. 3).

Ces branches sont mobiles à volonté, par la main ou le pied. Mais la plate-forme, elle-même, peut servir à régler sa course, et à cet effet, elle est munie en dessous de tasseaux avec lesquels elle passe alternativement sur l'une ou l'autre des branches z' et z'', et par suite change successivement le sens de sa course.

CHAPITRE II.

ACHÈVEMENT DES BOUCHES A FEU EN BRONZE.

ARTICLE I.

CISELAGE.

Observations générales.

Le ciselage des bouches à feu en bronze se fait d'après les mêmes principes et les mêmes procédés que pour les bouches à feu en fonte.

Mais le bronze étant moins dur, et beaucoup plus ductile que l'autre métal, on conçoit que l'inclinaison des ciseaux, et la violence du choc par le marteau, doivent varier.

Il faut, en général, des outils à tranchants plus fins pour le bronze; les limes doivent être plus douces, etc., etc. : nous ne nous arrêterons pas à ces détails. Nous ferons seulement quelques remarques relatives à la forme des canons.

Ciselage des embases.

Les embases des *obusiers en bronze* sont concentriques aux

tourillons ; leur exécution ne présente aucune particularité à mentionner, mais il n'en est pas de même pour les *canons en bronze*, dont la tranche des embases est formée supérieurement par un demi-cercle, et inférieurement par l'intersection de deux arcs de cercle tangents au demi-cercle supérieur, avec des rayons donnés par les tables de construction. On fera, sans doute, disparaître un jour cette anomalie dans le tracé des embases, qui rend leur ajustage plus difficile, sans amener aucun avantage.

La pièce étant placée sur les chantiers, l'ame et les tourillons horizontaux, l'ajusteur prend le gabarit (fig. 9, planche XXXI) représentant la tranche des embases, et découpé intérieurement suivant le cercle des tourillons : il l'applique contre la tranche, en faisant coïncider la ligne de symétrie *a b*, avec les marques indiquant, sur la tranche, la position du plan passant par l'axe des tourillons et perpendiculaire à l'axe de l'ame.

Après avoir tracé avec une pointe d'acier le contour de l'embase sur la tranche, l'ajusteur enlève avec le bec d'âne la partie excédante de métal ; en creusant des sillons suivant les génératrices rectilignes de l'embase et vérifiant leur direction avec une équerre, dont il appuie une branche contre la tranche de l'embase. Il détache avec un ciseau plat le métal resté entre les sillons, abat les aspérités avec la tête du marteau, et achève à la lime de polir et de former la surface. Il emploie un gabarit, en guise de lunette, pour vérifier les embases, aussi avant que le permet le corps de la pièce, et il fait pour le reste, comme nous l'avons indiqué pour les canons en fonte.

Ciselage des anses.

Pour former les anses, l'ajusteur dispose la pièce de manière que les axes de l'ame, et des tourillons soient horizontaux, les anses au-dessus. Il enlève, sur le second renfort, le métal excédant entre les anses brutes ; ce travail est guidé par les génératrices rectilignes qu'il mène, par les parties tournées, aux extrémités de ce renfort.

L'ouvrier dresse ensuite les extrémités des anses suivant des plans perpendiculaires à l'axe de l'ame en ayant soin de ne pas toucher aux parties voisines du corps de la pièce, où doivent se trouver les bases d'attache des anses. Il marque, sur le corps de la pièce, la trace du plan méridien perpendiculaire à l'axe des tourillons,

qui est dans la position actuelle sur la génératrice culminante de la bouche à feu.

L'ajusteur applique, contre les extrémités dressées des anses, et perpendiculairement à leur longueur, le gabarit (fig. 10, planche XXXI), indiquant l'écartement et l'inclinaison des plans extérieurs qui renferment les anses, et dont le milieu contient une ligne, qu'on fait coïncider avec la génératrice culminante de la bouche à feu. A l'aide de ce gabarit et d'une pointe d'acier, il indique sur les extrémités dressées des anses, les traces des plans qui les contiennent, et il raccorde ces traces avec le corps de la pièce suivant la courbure de l'attache des anses.

L'ajusteur enlève, par les procédés ordinaires, les parties du métal non comprises dans ces plans, à l'exception toutefois de l'attache des anses. Il applique, contre les anses, le gabarit (fig. 11), découpé suivant leur courbure extérieure; il en trace le contour et détache le métal excédant.

Pour avoir la projection de la courbure intérieure des anses, sur les plans qui les contiennent, l'ouvrier peut se servir d'un calibre (fig. 12), représentant la hauteur de l'anse, ou l'intervalle entre la courbure extérieure et celle intérieure.

L'ouvrier peut également tracer la courbure intérieure à l'aide du gabarit (fig. 12bis), appliqué sur les plans extérieurs des anses.

La courbure intérieure étant tracée, il faut enlever le métal compris entre cette courbe et le corps de la pièce. Pour faciliter ce travail, on fore, avec une machine à percer portative, un grand nombre de trous sur le périmètre de la partie à détacher, qui, étant ainsi isolée, est ensuite plus facilement séparée au moyen du marteau et du burin.

Le reste du travail ne présente plus aucune difficulté. Le profil *a b c d e f* du gabarit (fig. 12^3), sert à vérifier la partie supérieure de la section droite des anses; tandis que le profil *g h i* est employé pour le dessous, qui est arrondi, afin de ménager les cordages soutenant les pièces dans les manœuvres de force.

Les gabarits (fig. 12^4 et fig. 12^5) servent à tracer, sur le corps de la pièce, les bases d'attache des anses, qui sont également arrondies à l'intérieur, dans le même but.

ARTICLE II.

GRAVURE DES BOUCHES A FEU EN BRONZE.

La gravure des bouches à feu en bronze est ordinairement plus ornementée que celle des pièces de fonte.

En Belgique, elle se compose ainsi qu'il suit :

1° Canons, obusiers courts et canons obusiers de 24.

Le chiffre du Roi sur le 1er renfort, surmonté de la couronne royale et entouré de deux branches de chêne.

Le poids de la pièce sur la tranche du tourillon gauche.

Le numéro sur la tranche du tourillon droit.

Le lieu et l'année de la coulée sur la plate-bande de culasse.

2° L'obusier long de 0,15 se grave de la même manière, à l'exception du *lieu et de l'année de la coulée*, qui se trouvent sur le pourtour de la culasse.

3° Mortier en bronze.

Le poids sur le tourillon gauche.

Le numéro sur le tourillon droit.

Le lieu et l'année de la coulée sur le pourtour de la chambre.

Le chiffre du Roi sur le corps de la bouche à feu.

Les chiffres, les lettres et les dessins, en général, sont tracés à l'aide de gabarits découpés à jour, ainsi que nous l'avons dit pour les pièces en fonte.

Nous ajouterons que l'on peut, quelquefois, remplacer ces gabarits par des dessins sur papiers, dont le revers est saupoudré de charbon pulvérisé (ordinairement de fusain). On les applique à la place voulue, et on en repasse toutes les lignes avec une pointe arrondie, dont la pression fait adhérer la poussière de charbon, correspondante à la pointe de l'autre côté du papier, à la surface du métal enduite de craie. On obtient ainsi la reproduction du dessin par des lignes noires sur un fond blanc.

ARTICLE III.

UTILITÉ DU GRAIN.

Définition du grain de lumière.

Le grain de lumière est une vis en cuivre très-pur, introduite

avec force dans un écrou creusé dans le corps de la pièce; dans laquelle vis la lumière est percée.

On emploie le grain pour prévenir un trop rapide évasement, ou pour remédier à une lumière devenue défectueuse par le tir.

Inconvénients des lumières percées dans le bronze.

Les lumières percées dans le bronze, sont promptement mises hors de service. Ce métal se ramollit à la haute température développée dans la combustion de la charge. L'étain, beaucoup plus fusible que l'autre composant, a une tendance à s'en séparer sous l'influence de la chaleur; il est en outre très-attaquable par l'oxigène que renferment les produits gazeux dus à l'inflammation de la poudre. Les parties fondues ou oxidées se détachent, et sont entraînées par les gaz, qui s'échappent par la lumière avec une vitesse considérable, et dont la tension est énorme, principalement à l'orifice intérieur. Il en résulte que la lumière s'élargit en peu de temps, et que la pièce devient bientôt d'un faible service.

Avantage des lumières percées dans un grain de cuivre.

Le cuivre pur, bien corroyé, est beaucoup moins fusible que le bronze, et est peu attaquable par l'action chimique de la poudre enflammée. On profite de ces propriétés, pour prolonger considérablement le service des bouches à feu en bronze, par l'emploi d'une lumière percée dans un grain de cuivre.

ARTICLE IV.

NOMENCLATURE, FORGEAGE ET TOURNAGE DU GRAIN.

Nomenclature du grain.

Le grain de lumière (fig. 3, planche XXXIII) comprend quatre parties :

1° *Le faux carré EF*, utile seulement pour l'introduction du grain dans son logement; et qui est ensuite enlevé.

Le faux carré est ordinairement séparé du grain proprement dit, par une partie cylindrique *D E*, précédée, elle-même, d'une gorge *D C*.

2° *L'embase B C*, partie cylindrique d'un diamètre un peu

plus grand que le reste, servant à river le grain dans une fraisure creusée à la surface du renfort.

3° *La partie filetée A B*, dont la longueur augmente avec l'épaisseur du métal à la lumière.

4° *Le teton tronc conique A G*, aboutissant à l'ame de la pièce, et offrant par sa base inférieure une plus petite surface à l'action des gaz.

Dimensions du grain.

Les grains sont de mêmes dimensions pour toutes les bouches à feu neuves, et portent le n° 1 ; la longueur seule de la partie filetée varie d'après l'épaisseur du métal, ainsi que nous venons de le dire.

Mais lors du renouvellement d'un grain, il faut le plus souvent creuser un nouveau logement, car les filets primitifs peuvent avoir été endommagés, refoulés, arrondis aux arêtes ou même détachés en partie, soit par l'effet du tir, soit en retirant le grain hors de service : d'où, la nécessité d'avoir des grains de diverses grosseurs, et désignés sous les n°s 1, 2 et 3. Leurs dimensions sont consignées dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES PARTIES DU GRAIN.	N° 1. (Millimètres.)	N° 2. (Millimètres.)	N° 3. (Millimètres.)
Diamètre de la partie filetée y compris les filets.	43	51	59
Diamètre du teton près de la partie filetée.	35	43	51
Diamètre à l'extrémité du teton.	30	38	46
Hauteur du teton.	26	29	32
Hauteur de l'embase cylindrique au-dessus des filets.	6	6	6
Hauteur des filets.	6	6	6
Profondeur des filets.	4	4	4

Opérations que comporte la pose d'un grain.

L'ajustement d'un grain de lumière exige trois opérations :

1° La fabrication du grain.

2° Le perçage et le taraudage du logement du grain.

3° La pose du grain.

Nous décrivons, ci-après, les procédés suivis à la fonderie de Liége.

Forgeage du grain.

La fabrication du grain se compose, à son tour, de trois parties : Le *forgeage* du grain, le *tournage* et le *filetage.*

Le forgeron met le grain grossièrement aux dimensions voulues, en forgeant et corroyant un barreau de cuivre pur, ayant à peu près $0^{m},06$ d'équarrisage, (plus ou moins selon l'épaisseur des plaques de cuivre, d'où l'échantillon est pris) et d'une longueur proportionnée au calibre de la pièce à laquelle le grain est destiné.

Tournage du grain.

Le grain étant forgé, le tourneur le centre, le fixe entre les pointes d'un tour, et lui donne au crochet les dimensions prescrites.

Le filetage du grain peut se faire à la filière, ou à la machine à faire les vis.

Nous nous en occuperons successivement.

ARTICLE V.

FILETAGE DU GRAIN A LA FILIÈRE.

Notions générales sur la filière.

La filière est un instrument très-portatif, servant à faire les vis, et en usage dans tous les ateliers. On peut l'employer en campagne, ou dans les siéges, à mettre un grain neuf ou à remplacer un grain défectueux. C'est un des outils les plus utiles.

La filière est un écrou en acier trempé, composé d'une ou deux parties. Pour faire une vis, on y introduit un cylindre métallique d'un certain diamètre, qu'on fait tourner en même temps. Les filets saillants de la filière s'engageant dans le corps de la vis à exécuter, forcent celle-ci à s'avancer, à chaque tour, suivant l'axe de la filière, d'une quantité égale à son pas.

Le résultat serait le même si la filière tournait, la vis restant immobile.

Filière simple.

Il y a deux sortes de filières : la *filière simple* et la *filière à coussinets mobiles.*

La filière simple (fig. 7 , planche XXXIII) consiste en une série d'écrous, percés dans une plaque d'acier trempé ; ces écrous, par la diversité de leurs diamètres et des saillies de leurs filets , permettent d'amener , peu à peu , la vis aux dimensions voulues.

Pour faciliter le dégagement des limailles , on interrompt les filets de chaque écrou , par deux ou plusieurs entailles ou cannelures (fig. 7bis) , ce qui rend , en outre , la filière plus *mordante*.

Il convient de donner un *peu d'entrée* à la tige métallique , qui doit être filetée.

La filière simple ne peut servir qu'à l'exécution d'un nombre restreint de vis différentes, suivant la quantité d'écrous qu'elle présente.

Filière à coussinets mobiles.

La filière à coussinets mobiles (fig. 4) est formée d'un cadre à coulisses , entre lesquelles sont deux portions d'un même écrou , les *coussinets* , mobiles à volonté. Une vis de pression permet de resserrer, de plus en plus, les coussinets contre le corps de la vis à exécuter. Il en résulte que la saillie des filets est obtenue successivement , et qu'avec une seule paire de coussinets, on peut faire un grand nombre de vis de diamètres différents , mais ayant toutes le même pas et la même saillie des filets.

La filière à coussinets mobiles (fig. 4) se compose de :

Une boîte à coulisses , *A B C D*, nommée le *corps de la filière*.

Une tige ou *bras de levier fixe G H* , tenant au corps de la filière.

Une traverse *E F*, fermant la boîte à coulisses d'un côté, et fixée, soit par des emboîtements et des rivures comme à la figure 4, soit par des vis ou des boulons à vis , aux extrémités *A* et *D* des branches du corps de la filière.

Une tige ou *bras de levier mobile I K*, ayant une partie filetée *I L*, qui s'engage dans un écrou percé dans la traverse *E F*.

Deux *coussinets*, ou portions d'écrous , *P Q*, *N O* , en acier fondu et trempé , creusés suivant le pas et la forme des filets à obtenir. Ces coussinets sont entaillés de cannelures, perpendiculairement à leurs faces, pour transformer les extrémités des parties interceptées des filets , en couteaux ou dents de loup, et pour donner issue aux limailles , qui se forment dans l'opération du filetage.

Le bout fileté *L I*, de la tige mobile , permet de resserrer les coussinets contre la vis à exécuter , et de les rapprocher davantage, à mesure que les filets acquièrent plus de relief.

Fabrication des filières.

Les filières simples se font en creusant des écrous dans une plaque d'acier, et trempant ensuite l'acier. Les entailles, s'il y en a, se font avant la trempe.

Les coussinets des filières sont des portions d'écrou en acier (un peu moins que la moitié d'un écrou), entaillées de cannelures, et trempées ensuite.

Le reste de la fabrication des filières à coussinets mobiles, ne présente aucune particularité.

Filetage du grain de lumière avec la filière à coussinets mobiles.

Pour fileter un grain, on le fixe verticalement par le faux carré, entre les mâchoires d'un étau, le teton en haut, et on en saisit la partie cylindrique entre les coussinets de la filière. Un ou deux ouvriers, tenant la filière horizontalement, la font tourner en agissant sur les bras de levier. La filière monte ou descend suivant le sens de son mouvement de rotation, et parcourt, en même temps, la longueur de la partie cylindrique du grain. A chaque course, on resserre les coussinets au moyen du bout fileté du bras de levier mobile, et on continue l'opération, jusqu'à ce que les filets aient la saillie voulue.

On facilite ordinairement l'entrée de la vis, en réduisant légèrement le diamètre de la partie du grain voisine du teton.

ARTICLE IV.

MACHINE A FAIRE LES VIS.

(Planche XLV.)

Description sommaire.

La fonderie de Liége a fait l'acquisition d'une belle machine à faire les vis, sortant des ateliers de M. Pirotte, mécanicien de l'Université de Liége.

Cette machine peut servir à faire des vis et des écrous de beaucoup de pas différents, à l'aide d'un petit nombre de roues à engrenages, tenues en réserve. Toutes ces roues ont les mêmes dents, et peuvent engrener l'une avec l'autre. On peut donc les placer sur le tour, ou les changer, suivant la grandeur du pas à obtenir.

La machine se compose des parties suivantes :

Un banc de tour en fonte, relié à une fondation en maçonnerie, et présentant supérieurement deux directrices parfaitement dressées, horizontales et parallèles à l'axe du banc.

Deux poupées de tour, l'une à pointe fixe avec poulie poire motrice, permettant de varier les vitesses, et l'autre poupée à pointe mobile.

La poulie poire motrice peut tourner à volonté sur l'arbre de la poupée, qui lui sert alors d'essieu.

Un pignon assemblé sur la poulie poire, agit par des rouages intermédiaires, sur une roue dentée montée sur l'arbre de la poupée, ce qui constitue un système appelé *tour à engrenages*, système qu'on emploie pour obtenir de faibles vitesses de rotation.

Un chariot de tour, guidé par les directrices du banc, qu'il emboîte par des retours en équerre, et relié par un écrou (mobile à volonté), à la vis conductrice. Le chariot est également pourvu d'un pignon denté à croisillon, mobile à volonté.

Un support à glissières, fixé sur le chariot de tour et portant le burin.

Une vis conductrice, placée sur le côté du banc, parallèlement à sa longueur, et emboîtée par l'écrou fixé au chariot.

Une crémaillère, sur le côté du banc opposé à la vis conductrice. Elle sert à faire mouvoir le chariot de tour en agissant, avec la main, sur le pignon denté dont le chariot est pourvu.

Un échappement, pour arrêter ou changer le sens de la rotation de la vis conductrice, ce qui produit le mouvement de va-et-vient du chariot porte-outil.

Un système de roues à engrenages, intermédiaires entre l'arbre de la poupée à pointe fixe et la vis conductrice, établissant entre elles certaines vitesses relatives de rotation.

Travail de la machine.

L'objet à fileter, déjà tourné cylindriquement, est pris entre les pointes du tour, et le chariot surmonté du porte-outil est amené vis-à-vis de l'objet, et à la place convenable. On fait tourner la poulie motrice et par suite la vis conductrice.

Le mouvement de rotation de cette vis fait marcher le chariot suivant l'axe du tour, et le burin creuse en même temps un sillon hélicoïdal à la surface de l'objet à fileter. La quantité, dont le chariot avance à chaque tour de l'objet, détermine le pas de la vis.

Description des figures, *Planche* XLV.

Figure 1 Elévation de la machine à faire les vis.
Figure 2 Plan.
Figure 3 Vue du côté des engrenages.
A B (fig. 1 et 2) Banc.
C D Poupée à pointe fixe.
E F Poupée à pointe mobile.
G H Chariot de tour.
g h Manivelle du pignon denté, fixé au chariot de tour.
I K Support à glissières, boulonné au chariot de tour.
L M (fig. 2) Vis conductrice.
N O (fig. 1) Crémaillère, du côté opposé à la vis conductrice.
P Q (fig. 1 et 2) Cylindre à fileter, fixé entre les pointes du tour.
R S Echappement.

Détails sur la poulie poire motrice à engrenages.

a a (fig. 1 et 2) Poulie poire motrice, tournant sur l'arbre de la poupée *C D*.

b b Pignon denté, boulonné sur la poulie poire, et concentrique avec elle.

c c Roue à engrenages, montée sur l'arbre qui sert d'essieu à la poulie poire *a a*.

T U (fig. 2) Arbre sur le côté de la poupée *CD*, parallèle et à la hauteur de l'axe du tour.

d d (fig. 1 et 2) Roue dentée, montée sur l'arbre *T U*, engrenant avec le pignon *b b*.

c e (fig. 2) Pignon assemblé avec l'arbre *T U*, engrenant avec la roue *c c* (fig. 1 et 2).

La courroie passée de la poulie poire maîtresse, sur la poulie correspondante de la poulie poire motrice *a a*, lui communique un mouvement de rotation, ainsi qu'au pignon *b b*.

Le pignon *b b* agissant sur la roue *d d*, fait tourner l'arbre *T U* et le pignon *c e*; celui-ci, à son tour, fait mouvoir la roue *c c*, qui entraine l'arbre portant la pointe fixe du tour.

La vitesse de rotation de la poulie poire motrice, est à celle de l'arbre à pointe fixe (ou de l'objet à tourner), comme le produit du nombre de dents des roues *c c* et *d d*, est au produit du nombre de dents des pignons *b b* et *c e*.

Les roues *c c* et *d d* ont le même nombre de dents, il en est de même pour les pignons *b b* et *e e*. Ces engrenages donnent donc, à l'arbre du tour, une vitesse de rotation très-faible.

Quand on ne veut pas fileter, et qu'on n'a plus besoin de vitesses aussi faibles, on relie, par une vis, la poulie poire motrice à la roue *c c*; on enlève la roue *d d*, le pignon *e e*, et l'écrou du chariot de tour, et la machine à faire les vis se trouve transformée en un tour ordinaire.

Détails sur les rouages intermédiaires entre la poulie poire motrice et la vis conductrice.

f f (fig. 1, 2 et 3) Roue à engrenages, montée sur le prolongement de l'arbre des roues d'angle *S* et *R* (fig. 2), et ayant par conséquent la même vitesse de rotation.

h h (fig. 1 et 3) Roue à engrenages, montée sur l'axe de la vis conductrice.

g g (fig. 1, 2 et 3) Roue à engrenages, établissant la communication entre la roue *h h* et celle *f f*.

On change les roues *f f* et *h h* suivant la grandeur du pas qu'on veut obtenir.

i i Rayon ou bras en fonte, mobile dans un plan perpendiculaire à la longueur du banc, autour d'un pivot, *k*. Ce rayon présente, suivant sa longueur, une fente ou rainure *l l* (fig 3).

Lorsque les roues *f f* et *h h*, ayant le nombre de dents qui conviennent au pas à obtenir, sont fixées sur leurs axes, on fait passer l'axe de la roue *g g* dans la fente *l l*, on incline le rayon *i i*, et on fait glisser l'arbre de la roue *g g*, jusqu'à ce que cette roue devienne tangente aux deux autres *f f* et *h h*. On resserre alors les écrous pour maintenir, en leurs places respectives, le rayon *i i* et l'arbre de la roue *g g*.

Détails sur l'échappement et le mouvement de va-et-vient.

s s (fig. 2) Roue montée sur l'arbre du tour.

s r Roue engrenant avec la précédente, et de même grandeur.

m m Roue d'angle horizontale.

R Roue d'angle verticale, engrenant avec la roue *m m*, et vissée sur la roue *s r*.

S Roue d'angle verticale, engrenant avec la roue *m m*, du côté opposé à la roue *R*.

Les axes des roues *s r*, *R* et *S*, sont creux et traversés par un même arbre maintenu entre des coussinets.

t t Manchon mobile sur la longueur de cet arbre, et relié avec lui par une languette entrant dans une rainure. Les extrémités de ce manchon sont pourvues de dents engrenant avec des saillies ménagées sur les roues *S* et *R*.

Il est à remarquer que les roues *S* et *R*, qui engrènent avec celle horizontale *m m*, tournent dans des sens opposés. Lors donc, qu'au moyen du manchon *t t*, on reliera l'arbre qui le traverse, à l'une ou à l'autre de ces roues, on procurera à cet arbre des mouvements de rotation différents et par suite à la roue *f f* fixée sur cet arbre.

Le levier *p p*, à bras inégaux, a une charnière en *q*, et est muni d'un anneau embrassant une gorge creusée sur le manchon *t t*.

A l'aide de ce levier, on manœuvre le manchon.

ARTICLE VII.

PERÇAGE ET FILETAGE DU LOGEMENT DU GRAIN.

Opérations successives pour l'exécution du logement.

Dans l'exécution du logement du grain, il est essentiel que les différentes parties, qui le composent, soient concentriques, aient exactement les dimensions prescrites et occupent, dans le corps de pièce, la place fixée par les dessins ou par les tables de construction. A cet effet, on fore, à la partie désignée et suivant la direction de la lumière, une cavité capable de recevoir un grain *dont on aurait enlevé les filets*, et l'on creuse ensuite les gorges dans lesquelles doivent s'engager les filets du grain.

Le perçage du logement se fait avec quatre forets (fig. 13, 14, 15 et 16, planche XXXI), dans l'ordre suivant :

1° La langue de carpe (fig. 13) sert à forer la partie cylindrique, qui doit être filetée.

2° La langue de carpe (fig. 14), engagée dans le cône qui termine la première ouverture, creuse un cylindre ayant le diamètre de la petite base *G G'* (fig. 3, planche XXXIII) du teton tron-

conique. Le foret est arrêté lorsque sa pointe arrive au plan correspondant à l'extrémité du grain.

3° L'alésoir à conducteur en arrière (fig. 15, planche XXXI), forme le logement de la partie tronconique du grain.

4° Le foret à conducteur en avant (fig. 16), fait la *fraisure,* qui doit recevoir *l'embase* du grain.

Après le forage, on creuse, avec un *taraud,* les filets du logement du grain.

La fonderie de Liége possède plusieurs machines verticales à percer : nous décrivons celle de la forerie, servant au forage du logement du grain, au perçage des anneaux de brague des pièces de marine, et à plusieurs autres travaux analogues.

Machine verticale à percer les logements des grains de lumière et les trous de brague.

La tige du foret parfaitement cylindrique, est dans une position verticale : elle tourne sur elle-même et jouit, en même temps, d'un mouvement de translation suivant son axe.

La bouche à feu reposant sur un châssis à roulettes, est amenée sous le foret, et placée de sorte que l'axe du trou à percer soit dans le prolongement de celui du foret et à sa portée.

Le mouvement de rotation est imprimé par une roue dentée, traversée en son centre par la tige, et mue par un pignon commandé par le moteur de la forerie.

Le mouvement vertical de translation est produit par un pignon denté, engrenant avec une crémaillère fixée à l'extrémité supérieure de la tige du foret.

La crémaillère et la tige sont réunies par un pivot à tête noyée.

Une roue est montée sur le même arbre que le pignon de la crémaillère, et engrène avec un second pignon, sur l'axe duquel se trouve un volant.

L'action de la main sur le volant suffit pour faire mouvoir la crémaillère vers le haut ou vers le bas, et pour entraîner avec elle la tige du foret, qui y est attachée.

L'appareil est monté sur deux colonnes verticales en fonte, façonnées cylindriquement sur le tour, et maintenues vers le haut à une charpente en fer.

Deux entretoises en fonte, fixées à ces colonnes, soutiennent les coussinets, que traverse la tige du foret.

A l'entretoise supérieure est adaptée la roue, qui fait tourner le foret.

L'autre entretoise guide la partie inférieure de la tige du foret et l'empêche de dévier.

E F (fig. 1 et 2, planche XXXIII) Bouche à feu.

G H (Mêmes figures) Châssis muni de deux colliers soutenant la pièce.

g h, g h Colliers soutenant la pièce.

A B*, *A B Colonnes en fonte sur lesquelles la machine est montée.

C D Tige cylindrique du foret, sur la longueur de laquelle est creusée une rainure.

D V Crémaillère fixée à la tige du foret par un pivot noyé.

I K (fig. 1), ***I I*** (fig. 2) Entretoise munie de coussinets, guidant la partie inférieure de la tige. Cette entretoise est percée, à ses extrémités, de deux trous cylindriques traversés par les colonnes en fonte *A B*. Elle est mobile sur ces colonnes, et se fixe, par des vis de pression, à une distance convenable de l'objet à percer. Plus cette distance est petite, moins la tige du foret est exposée à fléchir, ou à dévier.

L M (fig. 1) et ***L L*** (fig. 2) Entretoise soutenant la roue dentée *N O*.

N O (fig. 1 et 2) Roue dentée communiquant le mouvement de rotation au foret. A cet effet, son axe est creux et traversé par la tige du foret. Une languette adaptée à l'intérieur de la roue et reçue dans une rainure pratiquée dans la tige, rend celle-ci solidaire du mouvement de rotation de la roue, sans lui ôter sa mobilité dans le sens vertical.

R S (fig. 1) Pignon engrenant avec la roue dentée *N O*.

T U Poulie poire montée sur l'axe du pignon *R S*, et commandée à l'aide d'une courroie, par une autre poulie poire, qui lui communique le mouvement.

P Q (fig. 1 et 2) Volant mobile par l'action de la main.

X Y (fig. 1 et 2) Roue dentée montée sur le même axe que le volant *P Q*.

X' Y' (fig. 1) Roue dentée intermédiaire entre les roues *X Y* et *Z Z'* (fig. 1 et 2).

Z Z' Roue dentée, montée sur le même axe qu'un pignon denté engrenant avec la crémaillère *D V* (fig. 1 et 2), ce qui permet, à

l'aide du volant, de faire monter ou descendre la crémaillère à volonté, et d'entraîner le foret à sa suite.

On évite d'avoir constamment la main au volant, dans le travail du forage, en suspendant un contrepoids à sa circonférence ou en adaptant un encliquetage à la roue à rochets $X'' Y''$ (fig. 1 et 2), et agissant sur cette roue à l'aide d'un levier à deux bras, auquel on suspend des contrepoids.

On remonte le levier, chaque fois qu'il est descendu d'une certaine quantité par l'avancement du forage.

Perçage du logement du grain.

On marque d'un coup de pointeau, à la surface de la bouche à feu, le centre du trou qui doit recevoir le grain. On dispose la pièce sur le châssis $G H$ (fig. 1 et 2, planche XXXIII), de sorte que les tourillons soient horizontaux, et que l'axe de l'ame fasse avec l'horizon le même angle, que la perpendiculaire à cet axe doit faire avec la lumière.

Le sol, qui supporte le châssis, doit être ferme et de niveau. On place la pièce sous la machine, de manière que l'axe de la lumière soit dans le prolongement de celui du foret : on s'en assure en fesant descendre la tige $C D$ (fig. 1 et 2) vers la pièce, et en remarquant si la pointe du foret aboutit au centre du logement du grain : on vérifie également l'horizontalité des tourillons, et l'inclinaison de l'axe de l'ame.

On procède au forage en employant les différents forets, dans l'ordre indiqué au commencement de cet article, et après s'être assuré que la 1re langue de carpe a sa pointe dans l'axe de la tige du foret. Cette condition est réalisée, lorsque le centre de cette pointe, mise en contact avec l'extrémité d'une petite tige immobile (ordinairement en fer ou en acier), la touche constamment, pendant qu'on fait tourner le foret.

Le forage et le fraisage des diverses parties du logement du grain ne présentent aucune particularité. On suit, à cet égard, les procédés indiqués au forage des canons, ou à l'occasion des tours. Le foret doit être bien affûté, et symétrique relativement à son axe. Les tranchants doivent être vifs. La pression doit être graduelle, et proportionnée à la dimension de l'arête tranchante, à la nature du métal, à la vitesse de rotation, etc., etc. Il faut dégager les limailles qui se forment, rafraichir le tranchant par

une injection d'huile ; veiller à ce que le foret ne se détrempe, ni ne se déforme, et le retirer de suite pour le réparer, dès qu'on s'aperçoit qu'il est dégradé.

On s'assure, par l'un des moyens déjà donnés, que le foret ne dévie pas.

Filetage du logement du grain.

Après avoir creusé le logement il faut former l'écrou, dans lequel doivent s'engager les filets du grain. L'écrou se fait avec un outil nommé *taraud.*

Le taraud (fig. 5, planche XXXIII), est une vis, en acier fondu et trempé, ayant la même grosseur et les mêmes filets que la vis qui doit entrer dans l'écrou.

Le taraud est coupé parallèlement à sa longueur par 4 ou 6 plans, qui transforment, en couteaux, les extrémités des portions interceptées des filets. Une tête carrée fait corps avec le taraud, et sert à fixer un levier, nommé tourne à gauche (fig. 6), avec lequel on le fait tourner. On a ordinairement, pour un même écrou, un jeu de tarauds.

Les saillies des filets augmentent d'un taraud à l'autre, jusqu'à ce qu'elles soient les mêmes que celles des filets de la vis, qui doit y entrer. On facilite l'introduction des premiers tarauds en les fesant légèrement tronconiquer vers le bout.

Pour fileter le logement du grain de lumière, on pose le canon sur deux chantiers, en sorte que l'axe du logement soit vertical. On introduit le premier taraud (celui de moindre diamètre); et on en fait entrer la *tête carrée* dans la mortaise pratiquée dans le tourne à gauche.

Deux ou plusieurs ouvriers maintiennent le tourne à gauche horizontalement, et s'en servent pour faire tourner le taraud, afin qu'il descende dans le logement, tout en conservant la position verticale.

Lorsque la résistance du métal devient trop forte, ils agissent sur le tourne à gauche alternativement dans un sens, et puis dans l'autre ; ils font remonter un peu le taraud, puis ils le font descendre vivement, ce qui, en imprimant une certaine force vive à l'appareil, permet de vaincre la résistance opposée par le métal.

On retire le 1er taraud en le dévissant, lorsqu'il est parvenu jusqu'au logement du teton, puis on passe au 2^d taraud, et ainsi de suite jusqu'au dernier (ordinairement le 3me).

ARTICLE VIII.

POSE DU GRAIN.

Lorsque l'écrou est formé, on introduit le grain avec le tourne à gauche, et on le visse jusqu'au refus. On reconnaît que le grain est arrivé au fond de son logement à son immobilité, quels que soient les efforts exercés sur le tourne à gauche.

La tête carrée devenant inutile, on la détache au burin. On façonne la surface extérieure, de manière qu'elle se confonde avec celle de la pièce, et on a soin de refouler les parties excédantes avant leur enlèvement, afin de produire, par cette rivure, un plus grand rapprochement entre le cuivre et le bronze, qui empêche le grain de se dévisser.

D'après la position de la lumière pour les canons de bronze, une partie du grain se trouve logée dans l'arrondissement du fond de l'ame : le teton fait donc saillie à la surface de l'ame. Mais cette saillie est enlevée par l'alésage, auquel les pièces neuves doivent être soumises après le forage, et après la pose du grain, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de l'indiquer.

Le perçage de la lumière se fait après l'alésage, par les mêmes procédés que pour les canons en fonte.

ARTICLE IX.

REMPLACEMENT D'UN GRAIN DÉFECTUEUX.

Circonstances qui nécessitent le remplacement d'un grain.

L'instruction de 1851, sur le matériel de l'artillerie belge, prescrit de remplacer un grain :

1° Lorsque le canal laisse passer librement la sonde de rebut de 9 millimètres de diamètre.

2° Quand le canal montre des crevasses, égrènements ou affouillements profonds de 2^{mm}, ou capables de recéler le feu.

3° Si le refoulement du teton est parvenu à 2^{mm} de profondeur.

Enlèvement du grain défectueux. — Pose d'un nouveau grain.

Lorsqu'il y a lieu de placer un nouveau grain, il faut commencer par enlever celui dégradé. On perce dans le vieux grain un trou cylindrique, suffisamment profond, et assez étroit pour que

son diamètre ne dépasse pas le côté du carré inscrit entre les filets du grain. On équarrit ensuite le trou avec un ciseau, et l'on introduit dans la cavité, qui en résulte, un prisme en acier, débordant assez le corps de la pièce pour donner prise au tourne à gauche. Des ouvriers agissent ensuite pour dévisser le grain.

Il arrive, quelquefois, que le grain est assez serré pour résister à tous les efforts. Dans ce cas, on détruit avec différents forets le métal compris entre les filets, puis on cherche à faire sortir ces filets en les saisissant avec une pince, ou bien on les fait disparaître au moyen de tarauds de grosseurs successivement croissantes. Dans ces diverses opérations, il faut épargner, autant que possible, les filets du logement du grain.

Si les filets sont bien conservés, on met un grain du même numéro que celui enlevé, suivant les procédés déjà décrits. Mais, si les filets sont endommagés, on les enlève avec un alésoir et on creuse, dans le logement agrandi, un nouvel écrou, capable de recevoir un grain d'un numéro supérieur à celui enlevé.

L'instruction de 1851 déjà citée, prescrit d'indiquer sur le nouveau grain mis à une bouche à feu, le lieu et l'année de la pose, ainsi que le nombre de grain que la pièce a reçus.

Après la pose du grain, il faut détacher la partie du teton qui déborde l'ame, opération qui doit se faire en ménageant ses parois.

La bouche à feu est replacée sur le banc de forerie, et porte, par l'astragale de la volée et le collet du bouton, sur un des colliers en bois.

Afin de pouvoir entraîner la pièce avec la roue motrice dans son mouvement de rotation, on passe, dans un trou percé dans le bouton, une broche en fer qu'on accroche à une griffe fixée sur l'arbre de la roue motrice.

On coiffe ensuite une barre de foret de la fraise (fig. 8, planche XXXIII). Cet outil est un cylindre d'acier terminé suivant la courbure du fond de l'ame dont il a le diamètre, et entaillé de dents sur la partie correspondante à la position du grain. La partie non cannelée de ce cylindre sert de conducteur à l'outil, dont l'action ne peut alors s'exercer sur les parois de l'ame. On a soin d'ailleurs d'arrêter le travail à temps pour ne pas entamer la culasse.

Machines de circonstance pour placer un nouveau grain en campagne.

Les évènements de la guerre pouvant obliger de faire le remplacement des grains loin des arsenaux, il est bon de prévoir cette éventualité. A cet effet, on approvisionne souvent les places, ou les parcs de réserve de grains de rechange de différents numéros. Ce serait, en outre, une excellente précaution d'avoir en même temps des tours légers, mus à la main ou avec le pied, et pourvus d'un volant.

A l'aide de ces tours et de la filière, qui est très-portative, on pourrait façonner les grains en toute circonstance.

Les français ont adopté une machine à percer le logement du grain fort simple et très-portative, et applicable dans un siége ou en campagne.

Elle se compose d'un bloc ou semelle en bois, surmontée d'un cadre ou châssis en fer, au milieu duquel est une vis de pression.

La pièce en reposant sur le bloc, qui lui sert de chantier, donne à l'appareil la stabilité nécessaire ; il faut d'ailleurs la disposer de manière que l'axe de la vis de pression soit dans le prolongement de celui de la lumière. On maintient les différents forets et alésoirs par leurs extrémités ; le tranchant étant engagé dans le métal, et le bout opposé de la tige étant muni d'une cavité, dans laquelle entre la pointe de la vis. On fait tourner le foret avec un croisillon, tandis qu'avec la vis, on le presse continuellement contre le métal.

APPENDICE AU LIVRE II.

APPAREIL A RAYER LES CANONS.

(Planche XLII).

La question des canons rayés est à l'ordre du jour. Toutes les puissances s'en occupent, et déjà plusieurs, d'entre elles, ont des machines spécialement destinées au rayage des canons.

En Prusse, l'ame est percée au travers de la culasse, et livre passage à la barre porte-couteau, à l'aide de laquelle se creusent les rayures. Cette barre est soutenue par les deux extrémités, et ne peut dévier. Les mouvements de rotation et de translation sont imprimés simultanément au foret, la pièce restant immobile.

A Lorient, en France, la barre porte-couteau jouit d'un mouvement de rotation, tandis que la bouche à feu, fixée sur un fort chariot ou châssis de fonte, s'avance suivant l'axe de la barre. Le mouvement de rotation est produit par une tringle ou languette en fer forgé, développée sur la barre porte-couteau suivant la courbure indiquée par le pas de la rayure. Cette tringle s'engage dans une entaille pratiquée dans un collier embrassant la barre, et fixée au même chariot que le canon.

Lors du mouvement du canon, le collier glisse le long de la barre, et l'entaille du collier parcourt la languette héliçoïdale qui y est appliquée, ce qui produit le mouvement de rotation voulu.

A la fonderie de Liége, on a monté un appareil de circonstance, calqué sur les anciens procédés de fabrication des écrous à l'aide d'une vis mère, procédé qui était aussi appliqué, anciennement, au rayage des armes portatives.

Le canon est immobile sur son banc de forerie, et la barre porte-couteau jouit d'un double mouvement de translation et de rotation.

L'extrémité de la barre opposée au canon, est fixée, à la boite du chariot de forerie, par un pivot à gorge, qui lui permet de tourner sur son axe. Du côté de la pièce, la barre est soutenue par un collier immobile, muni d'un tenon qui s'engage dans une rainure héliçoïdale creusée, sur la barre porte-couteau, suivant le pas de la rayure.

Le mouvement est produit en agissant sur la roue à rochets, qui fait avancer ou reculer le chariot de forerie. Celui-ci pousse la barre porte-couteau vers le fond de l'ame, ou l'entraîne du côté opposé, suivant le sens du mouvement.

La tête du foret est garnie d'un conducteur au diamètre de l'ame. Un couteau, fixé au porte-lame, entame le métal suivant une portion de la rayure. On lui donne successivement la saillie voulue en le fesant sortir peu à peu, à l'aide de calles en papier, en carton ou en fer blanc, placées derrière le couteau dans son logement sur le porte-lame.

Il faut avoir soin de marquer, sur la tranche de la bouche, les traces de son intersection avec les rayures.

Pour éviter des efforts trop considérables, la largeur et la profondeur des rayures sont obtenues par une série de lames, et par un travail graduel.

Figure 1 (planche XLII) Elévation de l'appareil.

A B Roue à rochets.

C D Crémaillère.

E F Chariot de forerie.

D Boîte du chariot de forerie.

D G (fig. 1, 2 et 3) Barre de foret cylindrique, fixée, à la boîte du chariot de forerie, par un pivot à gorge *a* (fig. 2 et 3).

c d (fig. 2) et *c' d'* (fig. 3) Rainure héliçoïdale creusée, sur la barre de foret, suivant le pas de la rayure.

H I (fig. 2 et 3) Porte-lame muni d'un conducteur au diamètre de l'ame.

h i Couteau vissé au porte-lame.

e f arrêtant le foret lorsqu'il est parvenu à la distance du fond de l'ame, où les rayures doivent s'arrêter.

K L (fig. 1 et 4) Entretoise avec montants et demi-colliers supérieur et inférieur en fonte, soutenant la barre de foret à peu de distance de la bouche de la pièce.

K (fig. 7) Tenon du demi-collier supérieur, s'engageant dans la rainure héliçoïdale de la barre de foret.

M N (fig. 1) Bouche à feu placée, sur le banc de forerie, dans une position stable, à l'aide de brides et étriers en fer et d'étançons derrière la culasse et aux tourillons.

P Q (fig. 1 et 5) Entretoise soutenant la pièce par la portée.

Figures 6 et 7 Détails sur les coussinets du collier (fig. 4), sur

le chapeau qui les recouvre, et sur le tenon entrant dans la rainure de la barre porte-couteau.

Figure 8 Couteaux.

Figure 9 Détail sur le pivot à gorge de la barre de foret.

Il existe, à Lorient, un appareil fort utile (fig. 10 et 11) pour présenter le couteau sur le tracé des rayures à la tranche de la bouche.

Figures 10 Elévation du collier traversé par la barre porte-couteau.

Figure 11 Coupe et projection du collier par un plan vertical suivant P Q (fig. 10).

A A (fig. 11) Lunette reçue entre les montants d'une entretoise fixée au chariot porte-canon.

B B Collier assemblé avec la lunette par deux boulons à écrous H, I.

F F, *G G* Rainures circulaires, concentriques à l'axe de la barre porte-couteau, et traversées par les boulons H, I.

B B' B'' Dents pratiquées sur une partie de la circonférence du collier *B B*.

C D Vis sans fin, engrenant avec les dents du collier *B B*.

D E Manivelle agissant sur la vis sans fin.

K Trou percé au centre du collier pour le passage de la barre porte-couteau.

L Entaille du collier pour recevoir la languette héliçoïdale développée sur la barre porte-couteau.

Le mécanisme de l'appareil est simple. On met le couteau en contact avec la tranche de la bouche à feu, puis on fait pivoter la barre porte-couteau sur son axe, en agissant sur la vis sans fin *C D*, jusqu'à ce que le tranchant du couteau se présente devant la partie de la rayure à creuser. On resserre ensuite les écrous *H*, *I*, et l'on procède au rayage.

Forage d'un canon avec ame à section droite polygonale, de l'invention de M. le capitaine Depuydt.

L'idée de lancer, avec des bouches à feu, des projectiles en forme de disque, a surgi de plusieurs côtés presque en même temps. M. le capitaine Depuydt, de l'artillerie belge, est, de tous les inventeurs, le premier et peut-être le seul, qui ait fait exécuter un canon d'après ces nouvelles idées.

Déjà en 1856, il a été fabriqué à la fonderie de Liége, d'après une proposition faite en 1855, par cet officier, un canon en bronze, dont l'ame avait la forme d'un rectangle terminé par deux demi-cercles, suivant le plan méridien vertical de la bouche à feu.

En 1857, il a été fait un nouveau canon, mais en fonte. L'ame était un exagone aplati suivant le diamètre horizontal, dont les angles aux sommets étaient légèrement arrondis.

Afin de diminuer le travail du rabotage de l'ame, travail difficile et incorrect, on a commencé par forer sur le banc de forerie, à la manière ordinaire, un cylindre suivant un cercle tangent aux deux côtés d'un des angles aigus de l'exagone de la section de l'ame. Le diamètre de ce cercle était aussi grand que possible.

Pour l'exécution de ce travail, la pièce tournait autour de l'axe de ce cylindre, qui était excentrique à la surface extérieure. Le trou de portée et la portée de la pièce avaient été pratiqués en conséquence.

Ce premier cylindre ayant été foré jusqu'au fond de l'ame, on en a creusé un autre, de même diamètre et dans une position symétrique, vers l'angle aigu opposé de l'exagone de la section de l'ame. Ce second cylindre était intercepté par le premier, et a été obtenu en fesant tourner le foret et avancer la pièce. Le foret était maintenu suivant l'axe du cylindre qu'il creusait, à l'aide d'un conducteur, dans lequel il pouvait tourner et qui lui servait d'appui près du couteau. Ce conducteur s'engageait à la fois dans le premier cylindre de l'ame, et dans la partie interceptée du second cylindre. Enfin le foret lui-même présentait, près du tranchant, une partie arrondie qui servait de conducteur pour le second cylindre.

Après ce travail, on a achevé d'obtenir le vide entier de l'ame, suivant le tracé exagonal, en fesant une suite de rayures droites avec *l'appareil à rayer.*

Ce système de forage a été proposé par M. le capitaine Depuydt. Cet officier a été ainsi l'auteur du tracé d'une nouvelle bouche à feu, tout en indiquant les moyens de l'exécuter. M. Depuydt avait eu la précaution, avant de formuler son système de forage, de consulter M. Sauvenay, maître forgeron et ajusteur et ancien maître foreur de la fonderie de Liége, qui avait été de son avis. Il ne pouvait s'adresser à un homme plus expert en cette matière, car c'est lui qui a inventé le forage actuel de la fonderie de Liége.

Nous trouvons, ce qui suit, dans le rapport sur la fabrication de

4 canons pour l'Autriche, adressé le 10 février 1852, par MM. les capitaines Willems et Gérard, à M. le colonel Frédérix.

« Le forage actuellement en usage est le forage dit moderne,
» dont notre fonderie (celle de Liége) est redevable à M. Sau-
» venay, maître forgeron et foreur à notre établissement; ce
» maître intelligent est parvenu à ce forage par d'ingénieuses mo-
» difications à celui dit d'Augsbourg, importé d'Allemagne par
» M. le colonel Frédérix.

» M. le capitaine d'artillerie Daubresse a très-bien fait res-
» sortir, dans un mémoire existant actuellement dans les archives
» de la fonderie, les avantages du forage de M. Sauvenay (forage
» dit moderne) sur celui d'Augsbourg, qui a été abandonné de-
» puis longtemps.

» L'outil du forage de M. Sauvenay qui a remplacé dès l'année
» 1840, le forage d'Augsbourg, se compose de, etc. »

M. Sauvenay avait, d'ailleurs, déjà fait sa réputation en inventant le forage des mortiers à chambre sphérique, décrit dans la 2me partie de notre ouvrage.

Ayant parlé de M. Sauvenay, nous ne pouvons nous dispenser de citer M. Dechange père, notre maître fondeur; ces deux hommes habiles ayant servi notre établissement pendant plus de 50 ans, c'est-à-dire, pendant presque toute son existence jusqu'à ce jour. M. Dechange a trois fils, formés à son école, et capables d'occuper des places de maître fondeur. M. Doutreuwe, contrôleur, entré dans l'établissement à peu près vers la même époque, peut aussi revendiquer sa part dans les travaux de notre fonderie.

Les différents directeurs de la fonderie de Liége ont été MM. Petit et Jure sous le gouvernement français, M. le général Huguenin sous le gouvernement hollandais, M. le major Renault et M. le colonel Frédérix sous le gouvernement belge.

LIVRE III.

VISITES ET ÉPREUVES DES BOUCHES A FEU.

CHAPITRE I.

BUT DE LA VISITE DES BOUCHES A FEU. DESCRIPTION DES INSTRUMENTS VÉRIFICATEURS DANS LES PLACES.

ARTICLE I.

BUT DE LA VISITE DES BOUCHES A FEU.

La visite des bouches à feu a pour but de constater leurs formes, leurs dimensions, leur poids et leur prépondérance, et de rechercher leurs défauts de métal ou de fabrication, afin de s'assurer si elles remplissent les conditions voulues pour le service.

Il y a trois espèces de visite : celles d'atelier, de réception et des pièces en service.

Les visites d'atelier se font dans le cours de la fabrication.

Il est avantageux, lorsque les pièces sont encore sur le banc de forerie, le banc de tour, la machine à tourner les tourillons, le banc à percer les lumières, les chantiers des ajusteurs, etc, de profiter de leur position favorable pour vérifier les formes et les dimensions des parties terminées. On évite ainsi des déplacements inutiles, coûteux et souvent nuisibles, par la difficulté de replacer les bouches à feu, sur les appareils de forage ou de tournage, avec un axe de rotation mathématiquement le même que celui primitif.

Les visites de réception ont lieu après l'achèvement des pièces. Cependant, pour les bouches à feu en bronze, les diamètres de l'ame et ceux extérieurs doivent être vérifiés, *avant et après l'épreuve du tir*; afin de s'assurer, si, par suite des efforts exercés dans cette épreuve, certaines dimensions extérieures n'ont pas été altérées, ou si l'ame n'a pas subi des dégradations trop fortes.

La visite des pièces en service, a pour objet de s'assurer si elles sont encore dans de bonnes conditions de tir, et si elles peuvent être montées sur les affûts qui leur sont destinés : à cet effet, on vérifie le calibre et l'état de l'ame et de la lumière, la position

et le diamètre des tourillons, l'écartement des embases et quelques dimensions extérieures.

Les visites de réception portent sur les points suivants :

1° Défauts de métal à la surface extérieure des bouches à feu.

2° L'ame.

3° La lumière.

4° Les tourillons et leurs embases.

5° Les autres parties extérieures.

6° L'angle de mire naturel.

7° Le poids et la prépondérance.

Avant d'examiner les conditions et les tolérances admises pour la réception des bouches à feu, nous donnons la description des instruments vérificateurs.

Les magasins des places fortes possédant un certain nombre de ces instruments, nous consacrerons ce chapitre à leur description.

ARTICLE II.

ÉNUMÉRATION DES INSTRUMENTS VÉRIFICATEURS DES BOUCHES A FEU DANS LES PLACES.

Ces instruments sont :

Étalon à coulisse et à vernier, pour la vérification des instruments.

Visite de l'ame.	*Étoile mobile* avec jeux de pointes et lunettes pour 0^m,39—0^m,29—0^{m}27—0^{m}25—0^m,22—0^m,20—0^m,13—48$^{liv.}$—36—24—18—12 et 6.	
	Chats pour chercher les Chambres de	0^m,27 — 0^m,25—0^m,22 — 0^m,20. 36$^{liv.}$—24—18—12—6.
	Crochets pour sonder les chambres de	0^m,27—0^m,25—0,22—0,20—48$^{liv.}$—36. 24$^{liv.}$—18, 12 et 6.

Visite de l'ame.

- *Refouloirs à plan incliné à prendre l'empreinte des chambres de*
  - 0,27 — *pour l'ame* / *pour la chambre.*
  - *pour l'ame de* — $0^{m},25$ / $0^{m},22$ / $0^{m},20$
  - *pour la chambre du* 0,22 *et du* 0,20 *et pour l'ame du* 0,15 (24), $48^{liv.}$ *et chambre du* 0,25.
  - *pour le* $36^{liv.}$
  - 18
  - 12
  - 6
  - 3
- *Dépendances. Boîtes en fer-blanc avec cire d'empreinte.*
- *Hampes pour refouloirs, caisses à instruments.*

Visite de la lumière.

- *Crochets en acier de différentes grandeurs*
- *Sondes*
  - *de réception.*
  - *de rebut pour pièce en bronze.*
  - *de rebut pour pièce en fonte.*

Règles d'ame de

- $0^{m},39$
- $0^{m},29$
- $0^{m},27$
- $0^{m},25$
- $0^{m},22$
- $0^{m},20$
- $0^{m},15$
- $0^{m},13$
- $48^{liv.}$
- 36
- 24
- 18
- 12
- 6.

Visite extérieure.

- *Double équerre à coulisse et à vernier.*
- *Règle à fourche et à coulisse.*
- *Poinçons.*

ARTICLE III.

DESCRIPTION ET NOMENCLATURE DE L'ÉTOILE MOBILE.

Notions générales.

(Planche XXXV).

L'étoile mobile (fig. 1) est l'instrument avec lequel on mesure les diamètres de l'ame. Ces diamètres sont donnés par le plus grand écart que peuvent prendre dans l'ame, deux pointes en acier, *les pointes mobiles a a.* Ces pointes, vissées chacune sur une boîte coulante en métal, *le mandrin*, sont mobiles dans une coulisse suivant le diamètre de l'ame. Perpendiculairement à cette coulisse, et entre les deux boîtes coulantes ou mandrins, on peut faire glisser une tringle qui sert d'axe à l'instrument. L'extrémité de la tringle, du côté de la coulisse, présente deux petites tiges en fer, *les cylindres inclinés b b, b' b'*, également penchés vers la tringle, et formant une sorte de coin, entre les deux mandrins porteurs des pointes mobiles.

Chaque cylindre incliné traverse une mortaise pratiquée dans le mandrin correspondant. Il en résulte qu'en poussant ou attirant vers soi les cylindres inclinés, à l'aide de la tringle sur laquelle ils sont ajustés, on écarte ou on rapproche les mandrins munis de leurs pointes en acier. Ces pointes, en venant appuyer contre la paroi de l'ame, suivant deux points situés sur un même diamètre, s'éloignent l'une de l'autre d'une quantité égale à ce diamètre.

Pour apprécier exactement la distance entre les deux pointes, il suffit de remarquer le chemin parcouru par la tringle, et de connaître le rapport, qu'il y a, entre ce chemin et la quantité dont les pointes mobiles se sont rapprochées ou éloignées.

Le chemin parcouru par la tringle est à celui parcouru par chaque mandrin ou par la pointe mobile, qui y est vissée, comme la base du plan incliné, formé par un des cylindres inclinés est à sa hauteur relativement à la tringle.

Les deux pointes mobiles marchant en même temps, il s'ensuit que *le chemin parcouru par la tringle est à celui parcouru en même temps par les deux pointes mobiles, comme la base du plan incliné est au double de sa hauteur.*

Si l'on donne, aux plans inclinés, une faible hauteur relativement à leurs bases, le chemin parcouru par la tringle sera beaucoup plus grand que celui parcouru par les pointes mobiles, *et de très-petites variations dans les diamètres, pourront être accusées par des mouvements très-appréciables de la tringle.*

La tringle est composée d'une ou plusieurs parties assemblées bout à bout selon la longueur de l'ame.

La coulisse, dans laquelle se meuvent les mandrins, est ménagée dans une *boîte* adaptée à l'extrémité d'une *hampe* creuse.

La tringle, logée dans la hampe, est mobile dans le sens de sa longueur. Une ouverture, percée dans la boîte, permet le passage des cylindres inclinés, fixés à l'extrémité de la tringle.

La hampe est formée d'une ou plusieurs parties, correspondantes aux diverses longueurs de la tringle, selon la grandeur des bouches à feu à visiter.

La tringle est pourvue d'un curseur en regard d'une échelle graduée, tracée sur la hampe. Parallèlement à cette échelle, la hampe présente une fente, qui livre passage au support du curseur.

On maintient l'instrument, suivant l'axe de la pièce, au moyen de *deux pointes fixes* en acier, logées sur le pourtour de la boîte dans un même plan avec les pointes mobiles perpendiculairement à l'axe de l'instrument. Les *deux pointes fixes* sont sur une droite en équerre avec une autre droite passant par les *pointes mobiles.*

Les pointes fixes ne permettent qu'un peu de jeu dans l'ame.

Un support, le *T à coulisses*, appliqué sur la tranche de la bouche, soutient la hampe de l'instrument, suivant l'axe de la pièce, à mesure qu'on l'introduit dans l'ame.

Nomenclature des parties principales de l'étoile mobile.

Les deux cylindres inclinés, $q\ q$, $q'\ q'$ (fig. 5, planche XXXVII); tiges cylindriques, en fer ou en acier, également inclinés sur l'axe de l'instrument.

Le support des cylindres inclinés $h\ h$: pièce en fer, façonnée vers un bout suivant l'inclinaison de ces cylindres, assemblée avec eux au moyen de vis et terminée, vers la partie opposée, en une *tige cylindrique.*

La tringle s s : barre de fer allongée, à base carrée, formée d'une, deux ou trois allonges, selon la longueur de la bouche à feu. La tringle est vissée bout à bout avec la *tige du support des cylindres inclinés* : elle est logée dans le creux de la hampe, et sert à faire mouvoir les cylindres dans la *boîte* adaptée à l'extrémité de la hampe.

La boîte p p : cylindre creux en cuivre, présentant, vers l'une de ses extrémités, quatre mortaises ou coulisses régulièrement réparties sur son pourtour.

Les *quatre mandrins* logés dans les mortaises de la boîte : deux d'entre eux sont fixes ; les deux autres *k l*, opposés sur un même diamètre, sont mobiles dans leurs coulisses et traversés par les cylindres inclinés.

La hampe: tube, composé d'une, deux ou trois parties, selon la longueur de la bouche à feu.

Les quatre pointes : tiges en acier, vissées sur les mandrins, dirigées dans un même plan perpendiculaire à l'axe de l'instrument ; deux de ces pointes sont *fixes*, comme les mandrins qui les portent, et les deux autres sont *mobiles*. La longueur des pointes est variable suivant le diamètre de l'ame : *pour chaque calibre il faut un jeu de quatre pointes.*

Le manche i f : donnant prise sur la tringle.

Accessoires.

Un T à coulisses : (fig. 19, planche XXXVI) instrument à trois branches, placé sur la bouche de la pièce, servant à maintenir la hampe de l'étoile mobile suivant l'axe de l'ame.

Un assortiment de lunettes pour tous les calibres.

Un tourne-vis, à trois branches (fig. 20).

Une caisse, pour renfermer l'étoile mobile, les jeux de pointes, le T à coulisses et le tourne-vis.

Une caisse contenant les lunettes.

ARTICLE IV.

DÉTAILS SUR L'ÉTOILE MOBILE.

Les deux cylindres inclinés et leur support (fig. 6, planche XXXVI).

g g cylindres inclinés.
h tige du support des cylindres inclinés, percée d'un écrou à l'extrémité *i* pour recevoir le bout fileté de la tringle.

La tringle.

La tringle (fig. 8, 9 et 10) est composée de trois allonges, ou tiges carrées, se vissant l'une dans l'autre. Si nous supposons l'étoile mobile dans la position verticale, les pointes en haut, elle sera composée d'une allonge ou tige supérieure, d'une tige intermédiaire et d'une tige inférieure; de plus, chaque allonge ou tige, aura une partie supérieure et une partie inférieure. Nous conserverons ces dénominations.

La première allonge, ou *tige supérieure*, a ses deux bouts filetés : le bout supérieur est vissé au *support des cylindres inclinés*, et le bout inférieur entre dans l'écrou correspondant de la tige intermédiaire.

La seconde allonge, ou *tige intermédiaire*, est filetée à son bout inférieur, et présente, à l'extrémité opposée, une *tête en olive*, percée d'un écrou qui sert à son assemblage avec la première allonge.

La troisième allonge, ou *tige inférieure*, a une tête en olive percée d'un écrou à l'extrémité supérieure qui s'assemble avec la tige intermédiaire, et présente au bout opposé une partie carrée plus mince que le corps de l'allonge.

Chaque tige est entaillée de traits de lime croisés *u* (fig. 8, 9 et 10) sur les deux faces attenantes de la partie inférieure.

Les tiges intermédiaire et inférieure (fig. 9 et 10) ont un *arrêtoir x*, rivé près du bout inférieur.

La boîte (fig. 1, 2, 3, 4 et 5).

La boîte est un tube en cuivre destiné au logement des cylindres inclinés. Elle présente, dans une espèce de tête ou couvercle, quatre mortaises ou coulisses, où se trouvent deux mandrins

fixes, et deux mandrins mobiles par le jeu des cylindres inclinés.

La partie cylindrique *b* de la boîte est creusée en écrou pour recevoir l'extrémité filetée de la hampe.

La *tête a* ferme la boîte du côté opposé à la hampe. Elle présente extérieurement quatre saillies disposées aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires entre eux.

Deux de ces saillies, opposées sur un même diamètre, sont percées chacune d'une mortaise propre à recevoir un *mandrin fixe.*

Les deux autres saillies sont creusées suivant une coulisse *t*, traversant entièrement la tête et guidant les *mandrins mobiles.*

Chacune de ces quatre saillies est marquée de points de repère indiquant la pointe qui lui correspond.

Les ouvertures de la tête e e permettent le passage des cylindres inclinés.

Les deux mandrins fixes.

Les mandrins fixes sont deux petits cylindres en fer *c c*, rivés dans leurs logements. Ils sont creusés en écrou en *d d*, pour recevoir le bout fileté des pointes fixes.

Les deux mandrins mobiles. (fig. 7)

Les *mandrins mobiles* sont deux tiges en acier, qui se meuvent, dans les coulisses de la boîte, par le jeu des cylindres inclinés.

Chaque mandrin présente, au bout intérieur à la boîte, une ouverture *k* traversée par l'un des cylindres inclinés, et au bout extérieur, un écrou *l* dans lequel on visse une pointe mobile.

L'entaille *m* et la vis *n* permettent d'augmenter ou de diminuer le jeu des cylindres inclinés.

La hampe.

La hampe est formée de trois tubes cylindriques, en cuivre, vissés l'un dans l'autre.

Le tube, qui s'assemble avec la boîte (fig. 11), est renforcé au bout *y*, lequel est fileté et reçu dans un écrou pratiqué dans la boîte.

Du côté opposé, ce tube présente une partie cylindrique, de

plus faible diamètre, entrant à frottement doux dans le tube suivant, et terminée par un bout fileté *z*.

Ce bout est brasé à la hampe et offre une ouverture carrée pour le passage de la tringle.

Les deux autres tubes de la hampe sont semblables et représentés (fig. 12).

a Écrou en cuivre brasé dans le tube à une certaine distance de l'extrémité, qui doit s'assembler avec le bout fileté du tube précédent. L'écrou *a* du second tube reçoit le bout fileté *z* du premier tube (fig. 11).

b Cylindre en cuivre fixé par des vis dans l'intérieur du tube, et percé d'un trou carré *c* pour le passage de la tringle. Ce cylindre limite le mouvement de la tringle dans un sens, parce que la tête en olive ne peut passer dans le trou carré *c*.

Le tube montre au bout opposé à l'écrou *a*, une partie plus mince, destinée à s'emboiter dans le tube suivant, et terminée elle-même par un bout fileté *d*.

L'écrou *a* du 3me tube reçoit le bout fileté *d* du 2me tube.

Si nous supposons l'étoile mobile complètement montée, et dans une position verticale, les pointes en haut, chaque tube, ou élément de la hampe, a une *partie supérieure* et une *partie inférieure*, et peut s'emboîter avec le manche par son extrémité inférieure. Sur la partie rétrécie du tube, qui s'engage dans le tube suivant ou dans le manche, sont incrustées deux petites plaques, ou grains d'argent, marquées chacune d'un trait ou ligne pour servir de points de repère. Ces deux lignes sont dans un même plan perpendiculaire à l'axe de l'instrument.

La hampe est divisée, suivant sa longueur, d'un côté en mètres et subdivisions du mètre, et de l'autre côté, en pieds, pouces et lignes (Ancienne mesure française).

Les divisions comptent à partir du plan, milieu de la tête de l'étoile mobile, plan qui passe aussi par les extrémités des *pointes* lorsqu'elles sont vissées sur les mandrins de la boite. Cependant les divisions ne sont marquées qu'à partir de 0^{m},30 de ce plan d'un côté de la hampe et qu'à 8° de l'autre côté (fig. 5, planche XXXVII). Les divisions sont continuées sur les trois parties de la hampe assemblées bout à bout.

Lorsque l'étoile mobile est introduite dans l'ame, la division de la hampe, qui correspond à la tranche de la bouche, indique la distance entre cette branche et les extrémités des pointes.

Les pointes en acier.

Les caisses contenant les étoiles mobiles achetées à Paris, renferment 36 pointes, formant 9 jeux de 4 pointes chacun, pour les calibres de 6, 12, 18, 24 livres, de 15, 20, 29, 39 centimètres et de 8 et 10 pouces français. Mais cet assortiment doit être completé et étendu à tous les calibres de l'artillerie belge.

La figure 17 (planche XXXVI), représente en demi grandeur une pointe du calibre de 12 livres. Les pointes des autres calibres sont les mêmes, mais elles présentent une branche intermédiaire dont la longueur varie suivant le calibre.

Chaque pointe est munie de points de repère, indiquant dans quel écrou de la tête ou des mandrins, elle doit être logée.

Le manche.

Le manche (fig. 13, 14, 15 et 16), est la partie de l'instrument qui donne prise sur la tringle, et permet de la faire jouer suivant la longueur de la hampe.

Le manche comprend deux parties principales : *le tube ff'* (fig. 13 et 14), s'emboitant à frottement doux avec l'extrémité de la hampe, et la *poignée i* qui recouvre une partie du tube.

Dans le manche, qui est percé, suivant son axe, d'un trou carré, se trouve un anneau de même forme : le *carré de pression.* Pour adapter le manche à la tringle, on fait passer celle-ci dans le carré de pression et on la serre contre le manche, au moyen d'un écrou se vissant extérieurement sur une petite tige filetée, fixée à l'un des angles du carré de pression. C'est avec une clef à deux dents composant l'une des trois branches du tourne-vis qu'on serre l'écrou.

Il y a, sur le tube du manche, deux fentes ou ouvertures longitudinales, sur les bords desquelles sont tracées les *échelles d'agrandissement f* (fig. 13 et 14), servant à estimer les accroissements ou les diminutions du diamètre de l'ame, en décimillimètres pour l'une des échelles, et en *points* (ancienne mesure française) pour l'autre échelle.

Le tube du manche sert, à cet effet, de curseur, le zéro de l'échelle d'agrandissement pouvant être mis en coïncidence avec

la marque sur le grain d'argent de la hampe, lorsque les pointes mobiles sont écartées exactement au diamètre de l'ame.

Le T *à coulisses* (fig. 19).

Le T à coulisses s'applique contre la tranche de la bouche à feu, et sert de support à la hampe de l'étoile mobile. Il présente, dans son milieu (fig. 19), une échancrure semi-circulaire pour recevoir la hampe. Il est à trois branches, munies chacune d'une coulisse *l* avec *butoir l'* et *vis de pression k*. Lorsqu'on veut placer le T contre la tranche, on dispose les coulisses d'après le diamètre de l'ame, de telle sorte que les butoirs appuient contre la paroi et que le centre de l'échancrure semi-circulaire coïncide avec l'axe de la pièce. A cet effet, les branches doivent être graduées, pour indiquer la position des coulisses pour chaque calibre.

Il est facile de compléter l'échelle de divisions pour les calibres non renseignés sur les branches.

Le *T* est en fer, excepté les vis de pression, qui, sont en cuivre.

Pour renfermer le T dans la caisse, on démonte la branche du milieu et on la place dans le prolongement des deux autres, comme il est indiqué à la figure (19bis).

Les lunettes (fig. 18).

Les lunettes servent à vérifier l'étoile mobile lorsqu'elle est montée. Elles sont en fer, et en nombre égal à celui des calibres.

Chaque lunette porte la marque de son calibre. Elles sont en fer, mais l'acier serait préférable.

Les collections distribuées dans les places, ne renferment que les lunettes des calibres indiqués pour les pointes; mais l'assortiment doit être complété.

Le tourne-vis à trois branches (fig. 20).

Le tourne-vis est en acier et à trois branches.

La branche *m* sert à tourner les vis.

La branche *n* sert pour les pointes.

La branche *o* sert pour l'écrou du carré de pression.

La caisse renfermant l'étoile mobile.

L'étoile mobile démontée, le T à coulisses, les pointes et le tourne-vis sont conservés dans une caisse de forme allongée avec un couvercle à charnière. La caisse a des compartiments numérotés qui indiquent l'arrangement des diverses parties de l'instrument. Les pointes et le tourne-vis sont logés dans le couvercle.

La caisse contenant les lunettes.

Les lunettes sont renfermées dans une autre caisse que l'étoile mobile. Elles sont rangées par grandeur, les plus grands calibres vers le fond.

ARTICLE V.

DIVISION DE L'ÉTOILE MOBILE.

L'étoile démontée, pour être mise en caisse, est divisée en 4 parties, non compris les jeux de pointes.

L'une d'elles, désignée sous le n° 1 (fig. 1 et 2, planche XXXVII), est composée de :

1° La boîte *p*.

2° Les deux cylindres inclinés *q q*, assemblés avec leur support.

3° Les deux mandrins mobiles *r r* et les deux mandrins fixes.

4° La 1re partie de la tringle *s* réunie au support des cylindres inclinés.

5° La 1re partie de la hampe vissée à la boîte *p*.

Les 2me et 3me parties de l'étoile (fig. 3 et 4) se composent chacune d'une tige ou élément de la tringle et d'un élément de la hampe. Chaque tige est maintenue, avec un certain jeu, dans la partie de la hampe, qui lui correspond, par les cylindres *v* qui s'opposent au passage des *têtes en olive x*, et par les *arrêtoirs u*, rivés sur la tige après son introduction dans la hampe.

La 4me partie est formée du manche (fig. 13, planche XXXVI).

L'étoile mobile se monte sur *trois longueurs*. Avec la première longueur, on visite l'ame des mortiers, la seconde longueur est pour les pièces de campagne, et la troisième est relative aux pièces de siége, de place et de côte. Il faut remarquer que l'étoile

mobile, montée complètement, est insuffisante pour certains calibres, tels que le canon obusier de 120, et autres de semblables dimensions.

On compose la première longueur de l'étoile mobile du *manche* et de la *partie de la hampe assemblée avec la boîte*, ou des nos 1 et 4.

La 2me longueur est formée des nos 1, 2 et 4. Le no 2 se reconnaît au bout fileté qui termine la tringle.

La 3me longueur comprend les quatre parties de l'instrument.

On assemble le manche avec la dernière partie, dont se compose la hampe, en emboîtant l'extrémité de cette partie par le tube du manche, en même temps qu'on introduit la tringle dans la poignée. Il faut, d'ailleurs, fixer cette tringle en serrant l'*écrou du carré de pression* à la place convenable, déterminée, ainsi que nous l'expliquerons plus loin.

Il est essentiel que les différents éléments de la hampe soient toujours vissés l'un dans l'autre exactement aux mêmes places : à cet effet, des *lignes de repère* ont été tracées aux extrémités correspondantes de ces parties, et doivent coïncider lorsqu'on les ajuste ensemble.

ARTICLE IV.

EMPLOI DE L'ÉTOILE MOBILE.

Assemblage des parties de la hampe.

Pour se servir de l'étoile, on la monte, comme nous l'avons expliqué dans l'article précédent, suivant la longueur de la pièce à visiter, et en ayant soin de faire coïncider les lignes de repère des hampes en les vissant l'une dans l'autre.

Placement des pointes.

Les pointes du calibre de la pièce sont vissées sur la boîte, aux places marquées par les lignes de repère, d'abord à la main, puis avec la branche creuse du tourne-vis, jusqu'à ce que l'épaulement du bout fileté appuie exactement contre le mandrin.

Il faut agir avec précaution et sans secousse pour ménager les pointes; les bien emboîter dans la cavité du tourne-vis et diriger l'effort suivant l'axe de la pointe et de son écrou.

Ajustement du manche.

On place la lunette du calibre sur les pointes, perpendiculairement à l'axe de l'instrument, et l'on pousse la tringle, *jusqu'à ce que les pointes mobiles touchent la lunette.*

On emboîte ensuite l'extrémité de la hampe par le tube du manche, que l'on fait avancer jusqu'à ce que les zéros *des échelles d'agrandissement* coïncident avec les lignes ou remarques faites sur les grains d'argent. On assure alors la position respective du manche et de la tringle au moyen de l'*écrou du carré de pression.*

Il importe que cet écrou soit assez serré pour empêcher le manche de glisser sur la tringle dans son maniement; mais il faut éviter un excès de pression qui, en augmentant le frottement du manche sur la hampe, en rendrait le mouvement difficile.

Il faut avoir soin, en agissant sur l'écrou, d'appuyer le tournevis contre le fond des entailles, pour ne pas déformer celles-ci dans les mouvements brusques des dents du tourne-vis, s'échappant de ces entailles. Il en est de même pour toutes les vis dont il faut ménager les têtes. On doit aussi éviter de fausser les filets, et remettre chaque vis exactement dans son logement primitif.

Mécanisme de l'étoile. — Division des échelles d'agrandissement.

En poussant la tringle vers la boîte, on en fait sortir les cylindres inclinés, et par suite on écarte les *mandrins mobiles* l'un de l'autre, ainsi que les pointes mobiles qui sont vissées dessus. Le contraire a lieu quand on ramène la tringle vers soi; les cylindres inclinés rentrent alors dans la boîte; les mandrins mobiles se rapprochent, ainsi que les pointes mobiles.

Les cylindres inclinés fesant le même angle avec l'axe de l'instrument, il en résulte que les augmentations ou diminutions de saillie de chaque pointe sont égales.

La division des *échelles d'agrandissement* est telle, que l'intervalle, d'une division à l'autre, correspond à une différence de saillie des pointes, égale à *deux décimillimètres* pour l'une des échelles, et à *un seul point* pour l'autre échelle.

En poussant la tringle vers la boîte de manière à faire correspondre successivement le trait sur le grain d'argent de la hampe, avec les 1re, 2me, 3me divisions, la distance entre les extrémités des pointes, augmente de 2, 4, 6... décimillimètres, ou de 1, 2, 3... points, selon l'échelle dont on se sert. L'inverse a lieu si on retire la tringle vers soi.

La figure (6, planche XXVII) représente l'échelle en mesure métrique. A partir de zéro, on voit de 5 en 5 divisions les chiffres 1, 2, 3, 4...., qui indiquent des millimètres : les divisions intermédiaires correspondent chacune à *deux décimillimètres.*

La figure (7) est l'échelle en ancienne mesure, chaque division correspond à un point. Le numérotage est fait de 3 en 3 points et de ligne en ligne. Ainsi, à partir de zéro, on voit les chiffres 3, 6, 9, marquant des variations de distance entre les pointes mobiles de 3, 6, 9 points.

L'indication sur l'échelle *ligne* 1, est relative à une variation de 1 ligne, et ainsi de suite.

Grandeur des divisions des échelles.

Les intervalles entre les divisions des échelles d'agrandissement (fig. 6 et 7), ne sont pas des subdivisions du mètre ou du pied, mais sont des multiples, par un même facteur, des variations correspondantes entre les distances des pointes mobiles.

L'inclinaison des *cylindres inclinés* sur l'axe de l'instrument étant $\frac{1}{12}$: il s'ensuit que la saillie de chaque pointe augmente ou diminue de $\frac{1}{12}$, pour chaque course de la tringle égale à l'unité. Les distances entre les pointes varient du double de cette quantité ou de $\frac{1}{6}$. Ainsi une variation de distance égale à deux décimillimètres entre les pointes est accusée par une course de la tringle 6 fois aussi forte ou 0m0012 : de même un changement de 1 point entre les distances des pointes est indiqué par un déplacement de la tringle égal à 6 points.

Les extrémités des *pointes fixes* vissées sur l'étoile mobile, sont distantes d'une quantité égale au calibre diminué de 1 millimètre : ce qui permet de vérifier les vieilles pièces, ou celles qui présenteraient des saillies ou bourlets dans l'ame.

Service de l'étoile mobile.

Pour prendre le diamètre de l'ame en une section donnée, on introduit l'étoile dans la pièce jusqu'à ce que la division de la hampe correspondante à la tranche de la bouche, indique que les pointes sont à la distance voulue de cette tranche. On maintient d'ailleurs la hampe dans l'axe de l'ame en la soutenant par le T à coulisses appliqué contre la tranche. Il faut ensuite agir sur la tringle jusqu'à ce que les pointes mobiles touchent la paroi de l'ame, et lire sur l'une des échelles l'accroissement ou la diminution du calibre.

Le service de l'étoile mobile exige deux hommes; l'un près du T à coulisses lisant sur la hampe la distance des pointes à la tranche de la bouche, l'autre faisant marcher la tringle à l'aide du manche et lisant sur l'échelle les variations de calibre.

Il faut agir sur le manche par un mouvement régulier et doux, et s'arrêter lorsque l'immobilité des pointes indique leur contact avec la paroi de l'ame. Des mouvements brusques et saccadés auraient bientôt mis l'instrument hors de service et donneraient de fausses indications.

ARTICLE VII.

LE CHAT.

Le chat est un instrument qui sert à trouver les chambres et les cavités dans l'ame de la bouche à feu. Il se compose de plusieurs branches ou lames divergentes en acier, assemblées sur un de leurs bouts autour de l'extrémité d'une hampe, et présentant, chacune à l'autre bout, une pointe en acier dirigée en dehors perpendiculairement à sa longueur.

On rassemble le faisceau formé par ces branches, au moyen d'un anneau fixé à une hampe qu'on retire quand le chat est introduit dans l'ame.

Les branches, en s'écartant de l'axe de l'instrument, appuient par leurs pointes contre la paroi de l'ame, et donnent d'autant plus de chances de rencontrer les cavités qui peuvent y exister que les pointes du chat sont plus nombreuses : il y en a 6 au

modèle en usage en Belgique. On promène le chat un certain nombre de fois sur toute la longueur de l'ame et on lui fait décrire, à chaque, fois un léger mouvement de conversion sur lui-même, de manière qu'aucun des points de la paroi intérieure de la pièce n'échappe à son action. Dès qu'on sent un obstacle à la marche du chat, on fait une remarque sur la hampe, pour reconnaître à quelle distance, il se trouve de la tranche de la bouche.

Il faut ensuite reconnaître en quel point de la section correspondante de l'ame, l'obstacle existe et quelle en est la nature, si l'obstacle provient d'un érafflement, d'un bourlet ou d'une chambre.

Un simple clou ou tout autre objet pointu, fixé à l'extrémité d'une tringle et perpendiculairement à sa direction est souvent d'une grande utilité dans cette recherche.

La place du défaut étant reconnue, on l'indique à l'extérieur de la pièce.

A B, *A B*... (Fig. 2, planche XXXV) Branches du chat, armées chacune d'une pointe.

C D Douille, pour fixer la hampe.

D D Hampe du chat.

E E Anneau mobile pour rapprocher les branches du chat.

F E Hampe porte-anneau.

ARTICLE VIII.

CROCHET POUR SONDER LES CHAMBRES.

Il est important, lorsqu'il existe des chambres dans l'ame, d'en mesurer la profondeur et de prendre, autant que possible, l'empreinte de leurs orifices. Le procédé le plus simple consiste à fixer, à l'extrémité d'une hampe, une pointe en fer ou en acier (clou, morceau de fil d'acier, etc.) garnie de cire ou autre matière plastique, et à faire pénétrer cette pointe dans la chambre, en appuyant sur la partie de la hampe qui déborde la bouche de la pièce, ou chassant la pointe avec un coin. L'instrument étant retiré, on juge de la profondeur de la chambre par la saillie que la pointe a prise sur la cire.

L'insuffisance de ce procédé a fait adopter en Belgique un instrument spécial, nommé *crochet pour sonder les chambres.* Il est formé d'une pointe en acier, dont la base occupe le centre d'un

godet propre à retenir la cire. Le débandement d'un ressort, que l'on comprime lors de l'introduction de l'instrument dans l'ame de la pièce, force la pointe à pénétrer dans la chambre. Le ressort étant de nouveau comprimé, on retire l'appareil à l'aide de la hampe à laquelle il est fixé.

Indépendamment de la profondeur de la chambre, indiquée par la quantité dont la pointe dépasse l'espèce d'embase formée par la cire refoulée sur les bords de l'orifice, on a encore l'empreinte de cet orifice.

Quoi qu'il en soit du procédé employé, on n'a le plus souvent que des résultats approximatifs.

La cire refoulée peut se déformer, ou se soulever, en retirant l'instrument. La pointe peut être trop grosse, etc., etc.

Un moyen utile dans quelques cas, consiste à monter sur l'étoile mobile, une seule pointe mobile, mais suffisamment longue et déliée.

Le crochet, pour sonder les chambres, en usage en Belgique, se compose des parties suivantes :

a b (fig. 5, planche XXXV). Barre de fer, vissée en *c* sur l'extrémité de la hampe.

o p Hampe.

d Pointe en acier fixée sur la barre *a b*, perpendiculairement à sa longueur ; cette pointe est au centre d'une base en forme de godet, pour mieux retenir la cire.

e f Levier relié par une charnière à la barre *a b*.

g h Ressort attaché en *g*, à la barre *a b*, et exerçant un effort permanent sur le levier *e f*.

k Poulie avec gorge, ajustée sur la barre *a b*.

l l' Tringle ou glissière en fer, mobile entre deux anneaux carrés adaptés à la barre *a b*. Elle est percée, à chaque extrémité, d'un trou qui permet d'y attacher une ficelle.

i k l Ficelle reliant le levier *e f* à la tringle *l l'* en passant sur la gorge de la poulie *k*.

l' m n Ficelle attachée à l'extrémité de la tringle *l l'*.

Après avoir reconnu l'emplacement de la chambre, et sa distance de la bouche, on marque sa position sur le corps de pièce. La bouche à feu est ensuite disposée sur deux chantiers la chambre en haut.

On garnit de cire la pointe du crochet ainsi que le godet, et on agit sur l'extrémité de la ficelle *l' m n*, de manière à rap-

procher le levier *c f* de la barre *a b*. On introduit ensuite l'instrument dans la pièce, le crochet en haut, jusqu'à ce qu'une remarque faite sur la hampe, indique que l'appareil est à la profondeur voulue. Lorsqu'on est bien assuré que la pointe est en regard de la chambre, on lâche la ficelle, et le ressort *g h* (fig. 5), en se débandant subitement, fait tourner le levier *c f* autour de sa charnière, et force la pointe *d* à pénétrer dans la chambre.

ARTICLE IX.

REFOULOIR A PLAN INCLINÉ POUR PRENDRE LES EMPREINTES DANS L'AME.

Le refouloir à plan incliné (fig. 3, planche XXXV), sert à prendre sur de la cire molle ou de la terre plastique, l'empreinte des cavités et dépressions dans l'ame. Il est formé d'un cylindre en bois, ayant un peu moins que le calibre de l'ame, et divisé en deux parties inégales par un plan incliné sur l'axe, chaque partie est pourvue d'une hampe.

La partie la plus grosse, *A B*, *le refouloir proprement dit*, se termine suivant la forme du fond de l'ame, et présente des cannelures propres à augmenter l'adhérence de la substance d'empreinte, et des entailles qui permettent de loger cette substance à la partie supérieure.

La seconde partie *D E*, *le coin*, a pour objet de faire pénétrer la substance d'empreinte dans la cavité, à reconnaître, par la compression que produit son interposition entre le refouloir et la paroi de l'ame.

On recouvre l'extrémité du refouloir de cire molle, de terre de pipe ou autre matière plastique convenablement pétrie, et on a soin d'en saupoudrer la surface avec de la craie, ou de l'enduire d'huile, afin que la matière plastique ne reste pas adhérente à la paroi de l'ame, lorsqu'on retire l'instrument.

La bouche à feu à visiter est disposée horizontalement sur deux chantiers, et de manière que le défaut à reconnaître soit vers le haut. On introduit le refouloir jusques vis-à-vis de la cavité ou chambre, la partie plane de l'instrument se trouvant en-dessous. On fait glisser le coin sous le refouloir d'abord à la main, et on le chasse ensuite à l'aide de quelques coups de marteau appliqués sur l'extrémité de la hampe. Il faut avoir soin de retenir le refouloir, afin de l'empêcher de glisser dans l'ame en même temps que le coin.

Ordinairement les cavités à reconnaître sont des chambres, ou des affouillements au fond de l'ame, l'évasement de l'orifice intérieur de la lumière, ou le logement du boulet. Dans ces cas, on appuie l'extrémité du refouloir contre le fond de l'ame, pour l'empêcher, plus sûrement, de glisser suivant l'axe de la pièce, pendant qu'on chasse le coin. La cire, ou la terre plastique, doit d'ailleurs occuper, sur la tête du refouloir, la place correspondante au défaut à reconnaître.

Pour retirer l'instrument, un ouvrier tient le refouloir immobile, et applique quelques légers coups de marteau latéralement sur la hampe du coin, tandis qu'un second ouvrier saisissant cette hampe l'attire vers lui. Dès que le coin commence à se dégager, le 1er ouvrier veille à ce que le refouloir reste dans sa position, et après la sortie du coin, il abaisse le refouloir avec précaution jusques contre la partie inférieure de l'ame, et il le retire en évitant de mettre l'empreinte en contact avec le métal de la pièce, ce qui la déformerait.

La substance d'empreinte doit former sur la tête du refouloir une couche assez épaisse pour que l'on puisse au besoin l'enlever avec un couteau sans la déformer. Les refouloirs à plan incliné dans les places, sont pourvus d'un godet fixé sur un ressort, dont le débandement facilite l'enlèvement de l'empreinte. Mais ce ressort diminuant ou détruisant l'adhérence de la matière plastique avec le refouloir, est cause que souvent cette matière reste fixée dans son empreinte.

Le refouloir à plan incliné dans les places ne vaut pas celui en usage à la fonderie de Liége, lequel a été communiqué à cet établissement par les bavarois en 1840.

ARTICLE X.

INSTRUMENTS POUR LA VISITE DE LA LUMIÈRE.

Crochets pour sonder la lumière.

La recherche des chambres dans la lumière se fait avec des petits crochets formés de fil d'acier recourbé à angle droit à une extrémité; ce sont des instruments que l'on peut composer pour la circonstance, et dont on varie les formes d'après l'état de la lumière. On prend la profondeur de ces chambres en garnissant de cire la pointe du crochet, et fesant pénétrer cette pointe dans les cavités.

Sonde de réception pour les bouches à feu neuves ou en service.

La sonde de réception, pour la vérification des lumières, est la même pour les pièces neuves et celles en service. Elle se compose de deux parties cylindriques raccordées par un arc de cercle, représentant respectivement le *calice*, le *raccordement* et le *canal* proprement dit.

La lumière du mortier de 0,15, n'ayant pas de calice et seulement $0^m,0055$ de diamètre, la sonde de réception pour cette bouche à feu, consiste simplement en un cylindre de $0^m,0055$ de diamètre.

Sonde de rebut pour les pièces de bronze en service.

Cette sonde consiste en un cylindre en acier de $0^m,009$ de diamètre, et d'une longueur variable suivant l'épaisseur du métal de la bouche à feu. ($0^m,38$ au plus)

Le grain doit être renouvelé lorsque le canal laisse passer librement cette sonde.

Sonde de rebut pour les pièces en fonte

Elle consiste en une règle plate en acier de $0^m,001$ d'épaisseur et de $0^m,015$ de largeur, et d'une longueur proportionnée à l'épaisseur du métal.

La bouche à feu doit être rebutée lorsque cette sonde peut traverser librement la lumière.

ARTICLE XI.

DOUBLE ÉQUERRE A COULISSE ET A TALONS AVEC VERNIER.

(Planche XXXIV.)

La double équerre à coulisse et à talons (fig, 4 et 4bis) sert à prendre les diamètres extérieurs de la bouche à feu, à vérifier la rectitude de l'axe des tourillons, leur abaissement relativement à l'axe du canon et l'écartement des embases, c'est une espèce de compas à branches perpendiculaires sur une règle; l'une des branches étant mobile sur ladite règle. Elle se compose de deux parties.

La partie principale est formée d'une *règle* en acier, nommée

la *branche intermédiaire*, dont un bout est recourbé en équerre, la *branche fixe*.

La seconde partie, la *branche mobile*, est aussi en acier et en équerre sur la branche intermédiaire qu'elle emboîte par une coulisse. Une ouverture, pratiquée dans cette coulisse, permet de lire les divisions de la règle, et avec un vernier tracé tout près, on peut apprécier les différentes mesures avec une approximation d'un décimillimètre.

Une vis de pression adaptée à la coulisse sert, au besoin, à fixer la branche mobile.

Les deux branches de la double équerre ont la même longueur et sont repliées extérieurement en retours parallèles à la règle, les *talons*. Les deux talons présentent chacun, d'un même côté, une côte ou tringle à base carrée, à une petite distance de la base du talon.

a b (Fig. 4, planche XXXIV) *Règle* divisée en millimètres, ou *branche intermédiaire*.

b c Branche fixe, en équerre sur la règle *a b*.

f' g' Talon de la branche fixe, parallèle à la règle *a b*.

f g Tringle à section carrée parallèle à *f' g'*.

d e Branche mobile, en équerre sur la règle *a b*, de même longueur que la branche fixe *b c*.

k k' Coulisse de la branche mobile, traversée par la branche intermédiaire *a b*.

l l' Vernier tracé sur la coulisse *k k'*, en regard d'une ouverture percée dans cette coulisse.

i' h' Talon de la branche mobile, parallèle à la règle *a b*, et dans le prolongement du talon *f' g'*.

h i Tringle à section carrée, parallèle au talon *i' h'*, et dans le prolongement de la tringle *f g*.

Figure 4bis. Coupe et projection de la branche mobile.

m n Coulisse avec vis de pression.

o Tringle.

ARTICLE XII.

RÈGLE A FOURCHE ET A COULISSE.

La règle à fourche et à coulisse (fig. 2, planche XXXIV), sert à prendre la distance du derrière du tourillon au derrière de la plate bande de culasse.

Il est important de placer la règle dans le prolongement du diamètre du tourillon parallèle à l'axe de l'ame.

Lorsque l'angle formé par deux tangentes à un cercle, est divisé en deux parties égales par une droite passant par son sommet, on sait que cette droite prolongée vient aboutir au centre du cercle. Cette propriété de la géométrie a servi à construire la règle à fourche.

Celle-ci se compose d'une *règle* proprement dite et de *la fourche*, toutes deux en acier. La fourche est formée de deux verges convergentes assemblées, au sommet de l'angle, sur une boite coulante traversée par la règle. L'axe, prolongé de cette boîte, coupe en deux parties égales l'angle au sommet de la fourche.

On aura la certitude que l'axe du tourillon est sur le prolongement de l'axe de la règle, dirigée parallèlement à l'ame, chaque fois que celle-ci touchera le tourillon, et que les deux branches de la fourche seront tangentes à la surface cylindrique.

La règle à fourche est munie d'un *indicateur*, verge droite en acier, à boite coulante mobile sur la longueur de la règle, et perpendiculaire au plan de la fourche.

Cet instrument comprend trois parties principales :

1° La *règle A B* (fig. 2,), verge carrée en acier, divisée en millimètres.

2° La *fourche C D E*, formée de deux *bras*, ou tringles en acier, réunis, sous un angle de 80° à 90°, à une boite coulante *F G*, pourvue d'une vis de pression et traversée par la règle.

3° L'*indicateur H I*, verge droite perpendiculaire au plan de la fourche, et interrompue par une boite coulante, que traverse la règle *A B*.

H L Grande branche de l'indicateur.

L I Petite branche de l'indicateur.

K L Boite coulante de l'indicateur, percée d'une ouverture avec vernier permettant de voir les divisions de la règle A B, et d'apprécier les longueurs à un décimillimètre près.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION DES INSTRUMENTS QUI, INDÉPENDAMMENT DE CEUX EXISTANTS DANS LES PLACES, SONT NÉCESSAIRES POUR LA VISITE DES BOUCHES A FEU NEUVES.

ARTICLE I.

LISTE SUPPLÉMENTAIRE DES INSTRUMENTS POUR LA VISITE DE RÉCEPTION DES BOUCHES A FEU NEUVES.

La visite doit se faire avec plus de détails pour les bouches à feu neuves que pour celles qui sont en service. Il faut donc encore quelques autres instruments de visite.

La vérification des pièces de fonte ou de bronze est la même, seulement les tolérances diffèrent. Mais ces différences, spécifiées dans les réglements sur la visite des bouches à feu, ne peuvent influer sur les procédés à suivre pour constater les défauts de métal, des formes ou des dimensions des pièces.

Les instruments suivants doivent servir à la vérification des canons, outre ceux qui sont en usage dans les places.

1° La *grande règle à équerre mobile* pour mesurer la longueur de l'ame.

2° Le *compas d'excentricité.*

3° Le *curvimètre.* Cet instrument n'est guère employé.

4° La *sonde de rebut* pour les lumières des bouches à feu neuves.

5° La *règle d'ame*, pour vérifier l'aboutissement de la lumière.

6° L'*étalon à coulisse et à vernier*, pour vérifier l'exactitude des autres mesures.

7° L'*étalon à deux biseaux*, pour mesurer diverses longueurs.

8° Une *grande règle en acier* pour mesurer la longueur des canons : elle peut au besoin être remplacée par la *grande règle à équerre mobile.*

9° Un *niveau*, à bulle d'air, à pendule ou à fil à plomb. Il est quelquefois utile d'avoir plusieurs niveaux.

10° Un quart de cercle avec pointeau mobile pour déterminer les points culminants de la surface de la bouche à feu.

11° Une portion d'arc de cercle avec nonius et niveau à bulle d'air pour mesurer l'angle de mire naturel.

12° Le miroir simple ou à réflecteur.

13° Un compas droit.

14° Un compas courbe.

15° Règles, pointes à tracer et à sonder, sanguine ou craie, ficelle, fils à plomb, équerres, etc., etc.

16° Échantillons pour le bourrelet, le cul de lampe, le bouton de culasse, les moulures, les anses, etc., etc.

17° Bougie au bout d'une tringle pour le cas, où il n'y a pas de soleil.

18° Terre de pipe pour prendre les empreintes : craie.

19° Jauges pour vérifier les lunettes.

Lorsqu'il s'agit de pièces à chambre, telles que les canons à bombes et les mortiers, la règle d'ame sert aussi à vérifier le raccordement de la chambre avec l'ame.

A cet effet, cette règle est creusée en gouttière au milieu de son épaisseur, et sur la partie correspondante à la chambre et au raccordement. Cette gouttière sert à loger de la cire ou de la terre de pipe, avec laquelle on peut prendre l'empreinte de la chambre, de son raccordement et en avoir le profil exact.

Aux mortiers la position des tourillons doit être rapportée à la tranche de la bouche.

Cette vérification se fait avec l'instrument nommé : *compas à branches parallèles pour prendre la distance des tourillons à la tranche de la bouche des mortiers.*

ARTICLE II.

GRANDE RÈGLE A ÉQUERRE MOBILE POUR MESURER LA LONGUEUR DE L'AME.

La grande règle à équerre mobile (fig. 7 et 7bis, planche XXXV), sert à mesurer la longueur de l'ame y compris la chambre. C'est une verge de fer à base carrée, traversant une boite coulante ménagée au centre d'une autre verge plus petite, *la règle en équerre*, perpendiculaire à la première. Des *tasseaux* ou demi cylindres en bois, servent à maintenir la grande règle suivant l'axe de la pièce, lorsqu'on l'introduit dans l'ame.

La règle en équerre appliquée ensuite contre la tranche de la bouche, intercepte sur la première une longueur précisément égale à celle de l'ame.

Ordinairement la grande règle contient des marques indiquant les longueurs prescrites pour les différents calibres, ainsi que les tolérances accordées en plus et en moins.

A B (fig. 7) Grande règle.

C D Tasseaux.

(Fig. 7bis) Coupe d'un tasseau.

E F (fig. 7 et 7bis) Bride en fer recouvrant l'encastrement pratiqué dans le tasseau pour le passage de la grande règle.

G Vis de pression sur la bride *E F*.

H I (fig. 7) Règle en équerre, mobile sur la grande règle.

K L Boîte coulante au milieu de la règle en équerre avec vis de pression.

ARTICLE III.

COMPAS D'EXCENTRICITÉ.

Les causes d'irrégularités dans les épaisseurs aux parois de l'ame en une même section droite de la pièce, sont les suivantes :

1° Un forage ou un centrage vicieux, d'où il résulte :

A Courbure de l'ame :

B L'ame droite, mais excentrique à la surface extérieure.

2° Un tournage défectueux, l'axe de rotation de la pièce n'ayant pas été le même que lors du forage.

3° Une arcure dans les canons en fonte non tournés.

Le *compas d'épaisseur ou d'excentricité* (fig. 4, planche XXXV) est l'instrument servant à trouver les différences d'épaisseur, en une même section droite de la bouche à feu. Il se compose 1° du compas proprement dit, formé de deux traverses très-rapprochées l'une de l'autre et assemblant deux règles ou *branches parallèles*, aussi longues que la pièce et assez écartées pour que l'une des branches étant introduite au fond de l'ame, l'autre se trouve à une petite distance de la surface extérieure : 2° de deux rondelles, d'un diamètre un peu moindre que le calibre de la pièce, percées d'une mortaise pour le passage de la branche inférieure de l'instrument.

A A A (fig. 4) Branche inférieure.

B B B Branche supérieure.

D D, *E E* Traverses d'assemblage.

F F, *G G* Rondelles d'appui de la branche inférieure. Elles sont mobiles le long de la branche, et se fixent à la place convenable au moyen d'une clavette ou coin en bois.

(Fig. 4bis) Section droite des rondelles d'appui.

a b (fig. 4bis) Mortaise, pour le passage de la branche inférieure, percée suivant le milieu du cercle de la rondelle.

Soit, dans le plan *A B* (fig. 6), la section droite de la pièce, où l'on veut reconnaître le plus ou moins de concentricité entre les axes de l'ame et de la surface extérieure. Il faut, à cet effet, placer la bouche à feu horizontalement sur deux chantiers, et disposer les rondelles d'appui sur la branche inférieure du compas, de telle manière que cette branche étant introduite dans l'ame, une des rondelles se trouve vers la bouche, et l'autre dans le plan *A B* de la section droite à vérifier.

On fait entrer la branche inférieure de l'instrument dans l'ame, et on maintient la branche supérieure dans un même plan vertical (fig. 6).

On mesure, suivant la verticale, la distance $cd = \delta$ (fig. 6) entre la branche extérieure du compas, et le point culminant de la pièce sur la section droite *A B*. On fait faire ensuite un demi tour à la pièce, en conservant au compas la même position, et l'on prend également la distance δ' entre le point culminant de la bouche à feu, et la branche extérieure du compas. Lorsque le demi-tour est exact, ce nouveau point culminant se trouve à l'extrémité c' du diamètre passant par le point c. Les distances δ et δ' sont égales, quand la projection du centre de l'ame, sur la verticale au point c, se confond avec le centre de la surface extérieure; si, au contraire, les centres de l'ame et de la surface extérieure projetés sur le diamètre $c c'$ ne coïncident pas, les quantités δ et δ' ne sont plus égales, et la moitié de leur différence est égale à l'excentricité c;

ou $$\frac{\delta - \delta'}{2} = c \quad (1).$$

Nous ne nous arrêterons pas à démontrer ce problème de géométrie. Il sera également facile de prouver qu'en représentant les épaisseurs aux points c et c' par E et e, on aura

$$E - e = \delta' - \delta \quad (2) \quad \text{et}$$

$$\frac{E - e}{2} = c \quad (3).$$

Nous avons déjà expliqué, à l'occasion du forage, qu'on doit chercher le plan méridien de plus grande excentricité de la pièce.

Nous ajouterons qu'il faut également reconnaître la section droite, qui donne l'excentricité la plus forte. Afin d'avoir des observations plus exactes, on les fait sur des sections droites passant par les moulures, et cercles d'intersection des diverses surfaces de révolution de la pièce.

Il est très-important de placer la rondelle d'appui dans l'intérieur de l'ame précisément à la partie dont on veut reconnaître l'excentricité, et de prendre les distances, entre la branche supérieure du compas et la surface extérieure de la pièce, exactement dans le plan de la section de cette partie et non à la culasse, ainsi que nous l'avons vu souvent faire par des ouvriers inexpérimentés. Il est évident, par exemple, que si la rondelle est placée au milieu de l'ame, et que la distance entre la surface de la pièce et la branche extérieure du compas sont prises à la culasse, les excentricités trouvées seront doubles des excentricités réelles.

Les tourillons pouvant gêner la branche extérieure, il serait utile d'avoir deux compas d'épaisseur pour chaque calibre.

ARTICLE IV.

CURVIMÈTRE.

L'ame, tout en ayant ses diamètres égaux ou sensiblement égaux, peut avoir ses génératrices différant plus ou moins de la ligne droite : ce défaut s'observait principalement avant le forage à conducteurs, lors de l'emploi de la langue de carpe. Le général Huguenin a fait exécuter, à la fonderie de Liége, pour tracer la courbure de ces génératrices, un instrument dont la première idée appartient au général Scharnhorst.

Le procédé consiste à diriger un crayon sur une règle recouverte de papier et placée dans l'ame, suivant le plan méridien vertical, et à forcer la boite qui renferme ce crayon à rester constamment en contact avec la règle, et à une distance toujours égale de la génératrice inférieure de l'ame.

Le crayon, mobile dans un étui perpendiculaire au plan de la règle, est poussé contre le papier par un ressort à boudin. Un autre ressort, contournant le bord supérieur de la règle, assure son contact avec la boite porte-crayon. Celle-ci s'appuie, par un pied en métal, contre la génératrice inférieure de l'ame et en suit tous les mouvements.

La boite est fixée à l'extrémité d'une tringle, avec laquelle on lui communique le mouvement de translation dans l'ame.

Le curvimètre se compose 1° de la règle proprement dite : 2° de ses appuis au fond et à l'entrée de l'ame ; 3° de la tringle conductrice de la boite : 4° de la boite porte-crayon.

Figures 3 et 4, (planche XXXVIII) Plan et élévation de la règle.

K L Règle proprement dite. Lorsqu'on l'introduit dans l'ame, elle doit avoir une de ses faces, sur l'axe de la pièce, et recouverte de papier à dessiner.

A B C Cylindre antérieur en bois servant d'appui à la règle dans le fond de l'ame : il est d'un diamètre un peu moindre que le calibre.

F Ressorts, au nombre de 4 sur le pourtour du cylindre *A B C*. Ils en assurent la position fixe, au fond de l'ame, par la pression produite par leur détente contre la paroi.

D E Cylindre postérieur en bois soutenant la règle à l'entrée de l'ame.

G Ressorts remplissant, sur le pourtour du cylindre *D E*, les mêmes fonctions que les ressorts *F* sur le cylindre *A B C*.

D E G (fig. 5) Coupe du cylindre *D E* par un plan suivant *H I* (fig. 4).

a b c (fig. 5) Mortaise pour le passage de la règle. Il est à observer que le côté *a b* doit passer par le centre du cylindre.

d e f g Mortaise pour le passage de la tringle conductrice de la boite porte-crayon.

Figure 8 Tringle avec boite porte-crayon. Élévation.

a b c d e Appui de la boite sur la génératrice inférieure de l'ame.

f Vis de pression sur la douille de la boite.

g h Tringle conductrice de la boite.

Figures 1 et 2 Plan et élévation du curvimètre dans l'ame de la pièce.

Figures 6 et 7 Coupe et vue sur un plan passant par l'axe du crayon.

A B (fig. 6) Ressort à boudin, poussant le crayon *c d*.

e, *g* (fig. 6 et 7) Vis de pression conduisant le crayon.

h Vis de pression, fixant le ressort à la boite porte-crayon.

k l m n (fig. 6) et *l m n* (fig. 7) Ressort conducteur de la boite contre la règle.

n (fig. 6 et 7) Roulette fixée à l'extrémité du ressort pour en adoucir le frottement.

o p Couvercle à vis de la boîte porte-crayon. Il permet d'ôter et de remettre le crayon.

r s Appui de la boîte sur la génératrice inférieure de l'ame.

A B C D Coupe et vue de la règle.

Pour se servir du curvimètre, il faut déterminer le plan méridien de plus grande courbure de l'ame. A cet effet, on introduit dans la pièce une règle en bois bien dressée, et on la fait tourner autour de l'axe en l'appuyant constamment contre la paroi. Lorsque la génératrice de contact avec la règle sera courbe, et présentera sa concavité vers l'axe, la règle appuiera par ses deux extrémités, et tournera facilement sur ses appuis. Mais, lorsque cette courbe présentera sa convexité vers l'axe de la pièce, la règle sera soutenue en un point situé dans l'ame, et portera à faux sur ses extrémités : elle ballottera, et il sera difficile de la faire glisser sur la paroi. La génératrice, qui permettra le plus grand ballottement à la règle, et qui fera éprouver le plus de résistance à son mouvement, sera la courbe de plus grande convexité vers l'axe, et si tous les diamètres sont égaux, ou suivent une gradation régulière dans leurs dimensions, la génératrice diamétralement opposée à la précédente sera celle de plus grande concavité vers l'axe.

Ce qui précède suppose que toutes les génératrices sont des courbes planes. Mais si elles étaient à double courbure, elles seraient en partie concaves et en partie convexes vers l'axe, et ne pourraient être relevées exactement ; et l'on n'aurait que des données approximatives sur la courbure de l'ame.

Le plan méridien de plus grande courbure de l'ame étant trouvé, on détermine sa position par une remarque, et on pose la pièce horizontalement sur deux chantiers en sorte que ce plan soit vertical.

On introduit la règle dans l'ame avec ses deux cylindres d'appui (fig. 1 et 2), la boîte porte-crayon se trouvant à l'entrée de l'ame, accrochée à la règle par le ressort, et fixée à la tringle qui fait saillie en dehors de la pièce.

On tient la tringle horizontale, et on lui imprime un mouvement régulier vers le fond de l'ame : le crayon, pressé, contre le papier, par le ressort à boudin, et tenu constamment à la même distance de la génératrice inférieure, décrira, sur

ce papier, une courbe qui sera la projection de cette génératrice sur un plan vertical.

Lorsque la boîte porte-crayon est arrêtée au fond de l'ame, on retire tout l'appareil en une fois.

Cet instrument peut paraître ingénieux, mais il est peu exact et susceptible de grandes erreurs. Il repose sur les deux suppositions suivantes inadmissibles dans la pratique : 1° que la règle est mathématiquement plane et passe par l'axe de l'ame; 2° que le pied d'appui du porte-crayon reste constamment en contact avec le plan de la règle.

Les causes d'erreur sont nombreuses : la règle en bois flexible sur sa longueur, est susceptible d'un mouvement de torsion. Le contact de la boîte avec la règle, principalement du pied d'appui de la boîte, est sujet à de petites interruptions; le plus léger écart, du pied de la boîte, le fait porter sur d'autres génératrices de l'ame, qui sont plus élevées que celles dont on prend la courbure. Il s'ensuit que la ligne tracée par le crayon s'enfléchit vers le haut et indique une déviation imaginaire. Le crayon peut jouer inégalement : il peut ballotter ou suivre une direction oblique dans son logement : les ressorts des cylindres d'appui de la règle peuvent se détendre inégalement; de là, une cause de torsion et de déplacement de la règle, soit après son introduction dans l'ame, soit dans le mouvement de la tringle conductrice de la boîte porte-crayon. La tringle elle-même peut exercer sur la règle, ou sur le cylindre d'appui antérieur, une poussée inégale à mesure qu'elle pénètre dans l'ame, etc., etc.

Lorsque la courbure de l'ame est faible, le meilleur moyen de constater les limites de la flèche de courbure, est le procédé Bavarois. Il consiste à introduire dans l'ame une règle en acier, posée de champs (sur sa plus petite épaisseur) et reposant par ses arêtes sur deux génératrices de l'ame. On cherche ensuite à introduire une petite lame d'acier, d'une épaisseur égale à la limite de tolérance, entre la paroi de l'ame et la règle, sans toutefois soulever celle-ci. On fait cette vérification ordinairement sur la position de la pièce correspondante aux plans diamétraux parallèle, et perpendiculaire à l'axe des tourillons. Si l'on ne peut introduire la lame entre la paroi de l'ame et la règle, on en conclut que l'ame est droite ou que sa courbure, si elle existe, ne dépasse pas la limite de la tolérance.

Si l'ame est parfaitement droite la règle, lorsqu'elle repose

sur deux génératrices, ne doit éprouver aucun ballottement, quelle que soit du reste la position de la pièce autour de son axe supposé horizontal.

Lorsque la courbure de l'ame est plus prononcée, comme cela arrive quelquefois dans un premier forage, on en détermine plusieurs points à l'aide du compas d'épaisseur.

ARTICLE V.

SONDES DE REBUT POUR LA LUMIÈRE DES BOUCHES A FEU NEUVES.

Cette sonde est la même que celle de réception, à l'exception que les diamètres sont plus forts de 0^m00025, ou un quart de millimètre environ.

ARTICLE VI.

ÉTALON A COULISSE ET A VERNIER.

L'étalon à coulisse et à vernier (fig. 12, planche XXXIV), sert à vérifier l'exactitude des autres instruments; on l'emploie le plus rarement possible afin de le ménager. Il a ordinairement peu de longueur, $0^m,60$ à $0^m,75$, et se compose d'une règle divisée, avec un talon fixe en acier à une extrémité, et d'un *talon mobile* ajusté sur une boîte coulante emboîtant la règle.

Une ouverture, percée sur la boîte coulante, permet de voir les divisions de la règle, et un vernier, tracé en regard, fait apprécier les longueurs avec une approximation de un décimillimètre. Une vis de pression, traversant la boîte coulante, sert à la fixer en une place quelconque.

Chaque talon a deux branches, une à pointe et l'autre à arêtes parallèles entre elles et perpendiculaires à la règle.

Les branches à pointes servent à mesurer les longueurs extérieures des objets: les autres sont utilisées pour prendre les dimensions intérieures des objets creux.

A B (fig. 12) Règle à talon fixe.

C D Talon fixe.

E F Talon mobile.

G H Boîte coulante avec ouverture sur la règle et vernier.

I Vis de pression.

C, *E*, Pointes des talons.

F, *D*, Extrémités des branches à arêtes parallèles.

ARTICLE VII.

MIROIR RÉFLECTEUR.

(Planche XXXIX.)

Le miroir réflecteur se compose de deux miroirs : l'un extérieur projetant la lumière du soleil sur la partie de l'ame à examiner, et l'autre intérieur réfléchissant l'image de cette partie sur l'œil d'un observateur placé derrière une lunette.

A A (fig. 1) Grande règle.

B B Appui de la règle en dehors de la bouche à feu.

a b (fig. 1 et 5). Miroir réfléchissant la lumière du soleil sur le point G.

R (fig. 1) Charnière permettant de donner diverses inclinaisons au miroir *a b*.

G Partie de l'ame ou orifice de la lumière à examiner.

c d (fig. 1 et 5) Miroir placé à l'extrémité de la règle A A.

p c q (fig. 1) Levier coudé à charnière supportant le miroir *c d*.

V Vis de rappel agissant à l'aide d'une tringle sur le levier coudé *p c q*.

l Lunette soutenue par une charnière.

La bouche à feu est placée sur des chantiers d'une hauteur de 0,40 à 0,50, de sorte que l'axe de la pièce soit, à peu près, dans le plan vertical passant par le soleil et l'observateur.

La règle *A A* étant introduite dans l'ame, jusqu'à la partie à explorer, on incline le miroir *a b* jusqu'à ce que les rayons solaires réfléchis, éclairent cette partie, et l'on agit sur la vis de rappel *V*, pour donner au petit miroir *c d* une inclinaison suffisante pour que la partie éclairée de l'ame puisse être vue par réflexion à travers la lunette *l*.

ARTICLE VIII.

MODIFICATION PROPOSÉE PAR M. LE CAPITAINE VAN GHERT, POUR REMPLACER LA LUMIÈRE DU SOLEIL PAR LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE ET POUR PHOTOGRAPHIER UNE PARTIE QUELCONQUE DE L'AME.

(Planche XXXIX.)

M. le capitaine Van Ghert, est le premier, à notre connaissance du moins, qui ait songé, il y a déjà longtemps, à appliquer l'électricité et la photographie à l'exploration de l'ame et de la lumière des bouches à feu. Son procédé est fort simple : nous lui empruntons ce qui suit.

Le miroir plan extérieur est remplacé par un réflecteur elliptique *a b* (fig. 2 et 4), au foyer duquel aboutissent deux cônes de charbon *m* et *n* (fig. 4), mis en communication avec les deux pôles d'un nombre suffisant d'éléments de Bunzen. (Ces cônes de charbon peuvent être mus à la main, à défaut d'une lampe électrique).

Le réflecteur projettera la lumière dans l'intérieur de la bouche à feu, le miroir *c d* (fig. 2) réfléchira la partie éclairée vers la lunette *l*.

Pour construire le réflecteur, on prendra le grand axe de l'ellipse génératrice égal à $3^{m},60$, et le petit égal à $1^{m},1832$; alors le foyer se trouvera à environ 0,10 du sommet, et l'appareil pourra servir pour les canons obusiers de 120, comme pour tous ceux d'un calibre inférieur.

Si l'on voulait avoir le dessin d'une partie quelconque de l'ame, il faudrait substituer à la lunette *l*, une chambre noire de photographie, et se servir de plaques de verre collodionnées. Ces plaques ou *clichés*, donneront ensuite autant d'épreuves positives que l'on voudra.

Cette modification de l'appareil permettra de s'en servir en tout temps et en tout lieu, tandis qu'on ne peut opérer, avec le miroir réflecteur, qu'en plein air et par un temps serein.

ARTICLE IX.

COMPAS A BRANCHES PARALLÈLES POUR PRENDRE LA DISTANCE DES TOURILLONS A LA TRANCHE DE LA BOUCHE DES MORTIERS.

Cet instrument est composé d'une verge d'acier, la *branche intermédiaire*, sur laquelle peuvent se mouvoir à coulisse et perpendiculairement à sa direction, deux règles en acier, les *branches parallèles*. La branche intermédiaire s'applique contre la tranche de la bouche, et les branches parallèles sont dirigées extérieurement au mortier et appliquées contre la tranche du tourillon. Un *indicateur*, mobile sur chaque branche parallèle, est ensuite mis en contact avec le derrière du tourillon, et fixé au moyen d'une vis de pression. La distance entre l'indicateur et la branche intermédiaire mesure l'intervalle entre le plan de la tranche de la bouche et le derrière du tourillon. Ces intervalles sont égaux pour les deux tourillons, lorsque leur axe est perpendiculaire à celui de l'ame. Un croisillon à trois branches, qu'on introduit dans la bouche, sert à faire passer la branche intermédiaire sur l'axe du mortier.

A B (fig. 9 et 10, planche XXXV) Branche intermédiaire.
C D, *E F* (fig. 10) *Branches parallèles.* Elles ont chacune une boîte coulante en *D* et *F* emboîtant la branche intermédiaire, et sont fixées par une vis de pression : elles sont perpendiculaires sur *A B*.

G H, *I K*, *Indicateurs :* petites règles en équerre et mobiles sur les branches parallèles, au moyen d'une boîte coulante. Une vis de pression permet d'en assurer la position en une place quelconque.

L M (fig. 10) et *L M N* (fig. 9) Croisillon à trois branches, traversé par la règle intermédiaire qu'il maintient sur l'axe du mortier. Il faut un croisillon par calibre. Un seul croisillon suffirait pour tous les calibres, si les branches pouvaient s'allonger à coulisse, ou si elles étaient pourvues de boîtes coulantes, avec vis de pression, formant soutien dans l'ame comme dans le *T* à coulisses de l'étoile mobile.

La règle à fourche et à coulisse peut remplacer avantageusement le compas à branches parallèles.

CHAPITRE III.

DÉFAUTS DES BOUCHES A FEU.

ARTICLE I.

DÉFAUTS DE MÉTAL A LA SURFACE EXTÉRIEURE DES BOUCHES A FEU.

Les pièces soumises à la visite sont placées sur des chantiers suffisamment élevés, ($0^m,60$ à 1,00 de hauteur), et assez espacées pour permettre l'usage des instruments. Le local doit, autant que possible, être couvert, convenablement éclairé et exposé au midi.

Les bouches à feu sont nettoyées intérieurement et extérieurement. Celles de fontes doivent être dépouillées de la rouille. On emploie, à cet effet, pour la surface extérieure des rapes, des vieilles lames de sabre ou de bayonnette, etc. L'ame est dérouillée avec un grattoir à une ou plusieurs branches (fig. 1 et 2, planche XL) La fonderie de Liége se sert de l'espèce de chat Bavarois (fig. 3) formé d'un grand nombre de fils d'acier placés autour d'une tête de refouloir avec les extrémités libres recourbées en pointe au dehors.

On donne le poli au moyen des briques pilées, sable, limaille de fer, etc.

Les défauts extérieurs des bouches à feu en fonte sont :

Loupes (seulement aux pièces non tournées).

Tacons } Disparaissent presque toujours dans le
Champignons. } tournage des pièces.

Cendrures.

Gravelures.

Chambres.

Soufflures.

Et aux pièces en bronze les :

Cendrures.

Gravelures.

Chambres.

Soufflures.

Sifflets.

Piqûres.

Taches d'étain.

Ces défauts ont été décrits dans la 1re partie.

Les cendrures et les gravelures se rencontrent ordinairement dans les parties saillantes des bouches à feu, telles que les tourillons, les anses, les visières, etc. : elles sont produites par les parties impures qui, mêlées avec le métal en fusion, ne peuvent sortir des cavités ou rentrants du moule.

Les chambres et les soufflures sont très-rares à la surface extérieure des pièces de fonte, tandis qu'aux bouches à feu en bronze, il en existe parfois depuis le bouton jusqu'à la volée; c'est au second renfort dans le voisinage des tourillons et des anses, et à la volée, qu'on les rencontre le plus souvent. Il en est de même pour les sifflets et les piqûres. L'emploi de très-fortes masselottes, en diamètre et en hauteur, atténue ces défauts et peut même les faire disparaître.

Les tâches d'étain qui renferment, tout au plus, 25 d'étain p. $\frac{0}{0}$ d'alliage se montrent principalement au 2e renfort à la hauteur des tourillons et des anses. Elles sont en général plus nombreuses et ont de plus grandes surfaces dans les forts calibres.

On examine la surface extérieure de la bouche à feu dans toute son étendue, et sens dessus dessous. Les chambres sont reconnues avec des sondes en fil d'acier, pour en déterminer la profondeur et la direction; on en tient note dans le tableau de visite.

On reconnaît le contour des pièces de rapport (mises frauduleusement) en versant un peu d'acide sulfurique, étendu d'eau sur les parties soupçonnées. Le mastic, (qu'on ne pourrait employer que pour les pièces de fonte), est découvert en mouillant la surface avec une éponge.

Ajoutons que ces fraudes ne sont pas à craindre dans un établissement, comme la fonderie de Liége, tenu en régie par l'État. Il n'y a que des entrepreneurs, entraînés par l'intérêt privé, qui pourraient s'en rendre coupables.

Les loupes sont enlevées au ciseau, et sondées ensuite pour s'assurer s'il n'y a pas de cavités en-dessous. Si ces cavités existent, elles sont considérées comme des chambres.

On recherche avec une pointe d'acier ou avec un burin les contours des tacons et des champignons, et on en prend la profondeur.

On détermine également l'épaisseur de la couche du métal

atteinte par les gravelures et les cendrures, et l'on dégage les charbons qui s'y trouvent enfermés.

On signale les tàches d'étain et généralement tous les défauts.

ARTICLE II.

ÉNUMÉRATION DES DÉFAUTS DE L'AME : LEUR DIVISION EN TROIS CATÉGORIES.

Avant de passer à la vérification de l'ame, il est utile d'en connaître les défauts, qui se divisent en trois catégories.

1° *Les défauts de forage, consistant dans :*

Un calibre trop fort, trop faible ou inégal.

Une longueur d'ame trop grande ou trop petite.

L'ame pénétrant trop avant dans la culasse.

La courbure de l'ame ou son manque de rectitude.

L'excentricité de l'axe de l'ame avec la surface extérieure.

Les ondes.

Les coups de foret.

Les rayures.

2° *Les défauts de métal, qui sont :*

Les chambres.

Les soufflures.

Les gravelures.

3° *Les dégradations occasionnées par le tir qui comprennent :*

Le refoulement.

Le logement.

Les égrènements.

Les affouillements.

Les fissures.

Les crevasses ou gerçures.

Les battements.

Les bourlets.

Les traînements.

Les érafflements.

L'évasement des orifices de la lumière ou de la bouche.

L'égueulement.

Les bavures.

ARTICLE III.

DÉFAUTS DE FORAGE.

Quand le calibre est trop faible, on l'agrandit en remettant la pièce sur le banc de forerie et fesant un nouvel alésage.

Mais s'il est trop fort, c'est-à-dire, s'il dépasse la limite fixée par les tolérances, la pièce est rebutée.

L'ame se rétrécit parfois vers le fond : ce défaut dû à l'usure du couteau, se produit souvent lorsqu'on laisse trop de métal à prendre au dernier alésage. On y remédie en fesant un nouveau polissage, avec un outil dont la largeur ne dépasse pas la tolérance admise pour le calibre. Mais pour la réussite de l'opération, il convient d'avoir au moins 0m0003 à enlever sur le diamètre : un outil qui n'est pas suffisamment engagé, éprouve des soubresauts qu'il faut absolument éviter.

Une longueur d'ame trop grande résulte ordinairement de ce que l'on n'a pas enlevé assez de métal sur la tranche en coupant la portée. On remet la pièce sur le banc de forerie, en la fesant tourner sur l'astragale ou la plate-bande de volée, et l'on détache avec le crochet de tour le métal excédant.

Si l'ame est trop courte, et que la longueur de la pièce, soit d'ailleurs exacte, on remet la bouche à feu sur le banc de forerie, et l'on approfondit le fond de l'ame avec le foret de manière à arriver à la distance voulue de la culasse.

Lorsque l'ame pénètre trop avant dans la culasse, cela est dû à la négligence du foreur, qui n'a pas arrêté à temps la marche de l'outil, ou qui a mal pris ses mesures, et il n'y a pas de remède. Il convient donc, dans le travail, d'éviter avant tout d'entamer la culasse, et il faut s'attacher, à cet effet, à terminer l'ame un peu avant la position prescrite.

La courbure de l'ame est produite par la déviation du foret, elle peut être plane ou à double courbure ; mais le plus souvent elle est plane, et elle n'existe que sur une partie de sa longueur.

L'excentricité de la surface de l'ame avec la surface extérieure est occasionnée par la courbure de l'ame ; par un centrage inexact, l'axe de rotation n'ayant pas été pris concentriquement à la surface extérieure ; par une arcure dans les canons en fonte non tournés ; et généralement par toutes les causes de déviation indiquées dans la 2me partie de notre ouvrage.

Les *ondes* sont des accroissements de calibre résultant des vibrations du foret, de sa dilatation, ou d'un travail trop prolongé à la même place (ce qui s'appelle *laisser dormir le foret*), ce dernier cas arrive lorsque la pression contre les couteaux est nulle ou trop faible.

Les *ondes* ont peu de largeur et sont faites sur un cercle entier de l'ame ou sont contournées en hélice.

Les coups de forets sont de petites entailles produites par une action trop vive du couteau, par un soubresaut ou broutement brusque et violent, par l'interposition momentanée de limailles entre un conducteur de l'outil et la paroi de l'ame, ou par la maladresse de l'ouvrier à l'entrée de l'ame.

Les *rayures* sont des sillons peu profonds, creusés par le foret lors de son introduction dans l'ame ou quand on le retire. Les *rayures* sont en ligne droite ou en spirale, suivant que la pièce est en repos, ou tourne sur son axe lors de l'accident. Elles peuvent aussi provenir de l'action des limailles pressées entre les conducteurs et la paroi de l'ame, les pièces de bronze, par leur défaut de dureté, peuvent seules être atteintes par cette cause de détérioration.

ARTICLE IV.

DÉFAUTS DE MÉTAL DANS L'AME, CHAMBRES, SOUFFLURES ET GRAVELURES.

Ces défauts se rencontrent rarement dans les pièces de fonte, à l'exception de celles coulées en 1re fusion et provenant des minerais plus ou moins sulfureux, comme il en existe en Suède.

Les pièces de bronze en sont plus souvent atteintes, principalement dans la volée; et aussi à la hauteur des tourillons mais moins fréquemment.

Les chambres et les soufflures sont dangereuses parce qu'elles peuvent recéler le feu lors du tir. Elles sont souvent le résultat d'une mauvaise coulée.

ARTICLE V

DÉGRADATIONS DANS L'AME OCCASIONNÉES PAR LE TIR.

Considérations générales sur les effets de la poudre.

Les produits de la combustion de la poudre sont variables, et différent sensiblement de ceux indiqués par le dosage théorique.

Ils sont gazeux ou solides (les résidus solides sont volatilisés en majeure partie au moment de la détonation et agissent instantanément comme s'ils étaient gazeux) et corrodent le métal des bouches à feu, en l'oxidant, le dissolvant ou le sulfurant, et même en le chlorurant (puisque le salpêtre contient ordinairement un peu de chlorure). Les réactions chimiques sont plus ou moins énergiques selon la nature de ces produits et suivant qu'il s'agit du bronze ou de la fonte.

Les effets physiques de la combustion de la poudre sont une haute température qui favorise les combinaisons chimiques; la dilatation d'où il résulte une diminution de cohésion; la fusion et la volatilisation de certains composants du métal des bouches à feu.

Les effets mécaniques de la détonation de la poudre sont la compression produite par une tension énorme des gaz (tension qui accélère les réactions chimiques), et par les chocs de ces gaz ou des projectiles; les changements qui s'en suivent dans la texture moléculaire du métal des canons, et l'enlèvement des parties oxidées ou désagrégées par la force des courants gazeux.

Refoulement.

Le refoulement est l'accroissement de calibre dans le lieu occupé par la charge. Il est un peu plus fort dans le sens vertical, et est produit par la force expansive des gaz lors du tir.

Le refoulement se forme principalement au fond de l'ame, parce que la température et la densité des gaz y sont les plus considérables.

Les poudres très-combustibles sont destructives des bouches à feu, ce qui leur a valu le surnom de *brisantes*. En effet, elles développent le plus de gaz dans les premiers instants de la combustion, d'où résulte une plus forte tension contre les parois de l'ame.

La masse du projectile augmente comme le cube de son rayon, tandis que l'aire de son grand cercle, suivant lequel les gaz exercent leur action, ne croit que suivant le carré de ce rayon; il s'ensuit que la force d'inertie, ou la résistance du projectile au déplacement augmente avec le calibre, et que ce déplace-

ment est d'autant plus tardif, toutes choses égales d'ailleurs, que le diamètre de l'ame est plus fort.

Ce déplacement plus tardif donne le temps à une plus grande quantité de gaz de se former, et d'acquérir une plus forte tension dans le lieu occupé par la charge.

Les charges semblables de poudre, c'est-à-dire celles dont le poids est une même fraction de celui du projectile, ont des longueurs qui croissent proportionnellement au calibre, et pour un même espace initial parcouru par le projectile, le rapport du poids de la charge au volume du vide en arrière du mobile augmente avec le calibre. Il en résulte que pour un même espace initial parcouru par le projectile, la densité des gaz augmente avec le diamètre de l'ame.

Pour ces deux raisons, la densité des gaz formés dans les premiers instants de la combustion croît avec le calibre suivant une *double fonction*, et les effets du refoulement sont d'autant plus marqués que les bouches à feu sont plus grosses.

Ces considérations font comprendre la difficulté de procurer aux *canons de fort calibre*, la résistance nécessaire. On voit combien il importe de donner de fortes épaisseurs autour de la charge, et d'*augmenter le rapport de ces épaisseurs au calibre, à mesure que les pièces sont plus puissantes.*

Les bouches à feu à chambre ont de plus petites charges que les canons de même calibre. Le volume du vide en arrière du projectile, dans les pièces à chambre, s'accroît beaucoup plus rapidement : il en résulte une diminution dans la tension des gaz, et par suite dans le refoulement. Mais le rapport du poids du projectile à l'aire de l'orifice de la chambre étant plus grand pour les pièces à chambre, le projectile se déplace plus tardivement, donne le temps à une plus grande quantité de gaz de se former, ce qui, dans certains cas, pourrait produire un refoulement plus fort.

Le refoulement est peu de chose pour les bouches à feu en fonte, à cause de la dureté de ce métal, mais il n'en est pas de même pour les pièces de bronze.

Nous ne discuterons pas ici les divers modes de chargement, qui ont tant d'influence sur les dégradations de l'ame. Nous ferons seulement remarquer que toutes les dispositions ayant pour effet de diminuer le vent, ou de retarder le déplacement du projectile, provoquent une augmentation de refoulement.

Les charges allongées, proposées par le M. général Piobert, diminuent la tension des gaz en leur permettant de se répandre dans un plus grand espace primitif, et en atténuent les effets destructeurs. Mais le vide au-dessus de la charge favorise une plus rapide inflammation de la poudre, et les gaz, en arrivant contre la paroi de l'ame, sont animés d'une force vive d'autant plus grande que l'intervalle qu'ils ont parcouru est plus considérable. Si donc la tension moyenne des gaz est diminuée par l'emploi des gargousses allongées ; par contre, il faut tenir compte des effets qu'ils peuvent produire par le choc.

Nous ne rechercherons pas si l'allongement des charges ne détermine pas une diminution dans les vitesses initiales : l'allongement dans ce cas équivaudrait à une diminution de poudre.

Le bronze devient plus dur et plus compact, lorsqu'il a été refoulé par l'effet du tir. On utilise cette propriété en éprouvant les pièces de bronze, avant le dernier alésage, afin de faire acquérir une plus grande dureté au métal au fond de l'ame. Les petites dégradations occasionnées par l'épreuve disparaissent ensuite par le travail de l'alésoir.

Le logement.

Le logement est l'empreinte que fait le projectile à la partie inférieure de l'ame, au point où il repose contre la charge. Il est produit par la pression que les gaz exercent sur le projectile, avant son déplacement, en s'échappant par l'issue que le vent leur offre. Le logement augmente avec le vent, avec la quotité de la charge et le poids du projectile.

Le logement se forme moins rapidement dans les tirs, sous des angles élevés, parce que la composante du poids du projectile, normale à la paroi de l'ame, diminue à mesure que cet angle est plus fort, et que le centre du projectile se rapproche davantage de l'axe de la pièce.

Les pièces de fonte par leur dureté n'ont que des logements insignifiants : on en remarque, au contraire, de très-appréciables, dans toutes les pièces de bronze, après un certain nombre de coups.

Le mode de chargement influe beaucoup sur la formation du logement. L'emploi des sabots prévient cette dégradation ; mais

nous avons déjà dit qu'il augmente le refoulement. Les gargousses allongées paraissent jusqu'à présent, d'après les auteurs français, le meilleur moyen de diminuer conjointement le logement et le refoulement.

Le logement est la cause première du bourlet et des battements. Il a aussi d'autres défauts pour conséquences. La compression exercée par le projectile au point où il repose, finit par détruire l'élasticité du métal. Les parties refoulées se *fissurent*, des *crevasses* peuvent même s'en suivre, et les gaz en s'y introduisant produisent des *affouillements.*

Égrènements, chambres et affouillements.

Définitions. De petites cavités, à la surface de l'ame ou de la chambre, s'appellent *égrènements.* Les égrènements existent en nombre plus ou moins grand dans une même région de la pièce. On les rencontre fréquemment aux arêtes vives, à l'intersection de la chambre avec le fond hémisphérique ou conique de l'ame, et à l'orifice intérieur de la lumière.

Les *chambres* sont des cavités plus grandes. Elles sont produites, tantôt par la seule action des gaz, tantôt par cette action exercée sur des chambres ou soufflures préexistantes.

Les chambres prennent le nom d'*affouillements*, lorsqu'elles affectent une forme allongée.

Égrènements, chambres et affouillements dans les pièces de bronze. L'étain est en partie fondu par la chaleur développée dans l'inflammation de la charge, ou bien il est oxidé et entraîné par les courants gazeux. La disparition de l'étain rend le métal spongieux, altère la cohésion entre les parties restantes de cuivre, qui sont ensuite dissoutes ou désagrégées et emportées par les gaz en mouvement.

Égrènements, chambres et affouillements dans les pièces de fonte. Ces dégradations sont plus lentes dans les pièces de fonte, mais deviennent cependant appréciables après un tir prolongé, principalement dans le lieu de la charge, à l'emplacement du projectile et dans la lumière. Les gaz, pénétrant entre les particules de fonte et de graphite et dans les fissures produites par le tir, forment des chambres et des affouillements.

L'oxigénation a lieu, non seulement sur le fer, mais encore

sur les autres substances que peut contenir la fonte, telles que le phosphore, le silicium, l'arsenic, etc.

Les résidus solides agissent jusqu'au moment où ils sont chassés par le nettoyage de la pièce. Mais si bien que celui-ci soit fait, il peut en rester quelques parcelles au fond de l'ame. Les parois d'abord lisses, deviennent rugueuses, après un tir plus ou moins repété : les petites cavités, qui se sont formées, retiennent une partie plus ou moins grande de ces résidus solides, dont l'action devient continue.

Dès que l'élasticité de la fonte est vaincue, des fissures peuvent se produire ; ces fissures imperceptibles, parce qu'elles se referment immédiatement après s'être ouvertes au moment de l'explosion, sont aussi en contact avec les produits de la combustion de la poudre, et notamment avec le sulfure de potassium, au moment où il est encore gazeux. Ces produits gazeux, en s'y condensant, restent emprisonnés dans les fissures lorsqu'elles se referment.

Les parties métalliques oxidées constituent ensuite les éléments d'une pile. Dès lors, le travail de la corrosion de la fonte ou de la rouille proprement dite, devient incessant. Ce travail est aidé ou retardé par le plus ou moins de soins pris pour la conservation de la pièce, par l'exposition climatérique, etc.

Des bouches à feu en fonte ayant été retirées de la mer, après y avoir séjourné environ 50 ans, ont été trouvées converties, sur un tiers de leur épaisseur, en une masse poreuse semblable à la plombagine. Lorsqu'elles furent exposées à l'air, elles s'échauffèrent, au bout d'un quart d'heure, à tel point que toute l'eau, qu'elles contenaient, en fut expulsée.

Nous insistons pour faire remarquer que les causes permanentes de destruction ci-dessus indiquées, agissent lentement ; et que les pièces de fonte, si elles ne durent pas aussi longtemps qu'on pourrait le désirer, sont cependant d'un service avantageux et plus économique que les bouches à feu en bronze.

Fissures. — Crevasses.

Définitions. Les fissures sont de petites fentes, qui se produisent après un tir plus ou moins répété, selon la quotité des charges, principalement dans le lieu occupé par la charge

de poudre, à l'emplacement du projectile et aux battements. Elles sont occasionnées par la dilatation du métal, par la tension des gaz, par la pression du projectile ou par ses chocs contre la paroi de l'ame.

Les *crevasses* ou *gerçures* sont des fentes qui se prolongent jusqu'à la surface extérieure.

Fissures et crevasses dans les pièces de bronze. Elles ont plusieurs causes. Les parties riches en étain sont dures et cassantes. Quand le métal est poreux et graveleux, il ne possède plus la ténacité nécessaire et se dilate, dans le lieu de la charge, au delà de la limite que permet sa ductilité : il en résulte des fissures qui peuvent se propager jusqu'à l'extérieur et former des crevasses, quand la pièce n'éclate pas subitement.

Le bronze devient plus dur, et finit par se fendiller par l'effet de la compression et du choc. Aussi les fissures se remarquent fréquemment au logement du boulet et aux divers battements, lorsqu'ils ont acquis une certaine profondeur. On estime que, quand cette profondeur est de $0^m,005$ à $0^m,006$, l'élasticité du métal est sur le point d'être vaincue, et que la continuation du tir peut amener des accidents. On a vu, mais rarement toutefois, des canons en bronze se crevasser même dans un tir d'épreuve.

Ces accidents, par leur extrême rareté, ne diminuent en rien la confiance qu'inspire la ténacité des canons en bronze, lorsqu'ils ont été fabriqués dans les conditions normales.

Fissures et crevasses dans les canons en fonte.

Les fissures se produisent, dans les bouches à feu en fonte, principalement à la lumière, au raccordement de l'ame avec le fond, dans le lieu occupé par la charge, au logement du boulet et à la partie opposée de l'ame. On les rencontre aussi, mais plus rarement, en d'autres parties, telles que le 2^d renfort, et la volée.

Nous avons déjà indiqué, à l'occasion du perçage de la lumière, que celle-ci, après un tir plus ou moins répété, devenait le centre de trois lignes de fissures ; l'une dirigée suivant la génératrice supérieure de l'ame, et les deux autres, à droite et à gauche, suivant le raccordement de l'ame avec le fond. Nous nous contenterons de rappeler que ces dégradations sont dues à l'échauffement de la lumière, et à l'inégale dilatation du renfort et de la culasse.

Il en résulte que la position de la lumière la plus avantageuse, pour la conservation de la bouche à feu, serait le centre de la culasse, suivant le prolongement de l'axe.

C'est bien à tort que certaines personnes ont attribué la rupture des canons, suivant un plan passant par la lumière, à un refroidissement plus rapide, occasionné par la séparation des châssis par un plan perpendiculaire à l'axe des tourillons. Observons, en effet, que si le châssis présente ce plan de séparation, il n'en est pas de même du moule en sable. L'expérience montre que ce mode de rupture a lieu aussi *pour les canons moulés en terre*, et que d'ailleurs les surfaces d'éclatement ne passent pas toujours par la lumière. Il faut donc chercher d'autres raisons; nous en trouvons de suffisantes dans celles que nous avons déjà exposées, et auxquelles on peut ajouter la tension des gaz s'échappant par la lumière, la pression du boulet dans son logement suivant le plan vertical de tir, les percussions exercées sur la vis de pointage.

Le châssis de culasse est d'une pièce, et cependant le plan de rupture se propage, bien souvent, depuis la lumière jusqu'à l'extrémité du bouton.

La tension des gaz refoule le métal dans l'emplacement de la charge, et en augmente le diamètre. Il en résulte une modification dans la texture moléculaire, une diminution de cohésion, et des lignes de fissures qui s'étendent progressivement par les vibrations occasionnées par la continuité du tir.

Un phénomène semblable, mais bien plus marqué, a lieu au logement du boulet. La compression, exercée par le boulet, produit des fissures plus profondes et plus nombreuses, qui finissent par atteindre la surface extérieure.

Cette faiblesse de la bouche à feu, suivant le plan méridien vertical, a suggéré l'idée de lui donner une forme elliptique, le grand axe vertical, afin d'augmenter les épaisseurs dans ce sens. L'examen de canons tronçonnés, ayant supporté de belles épreuves, a fait voir, pour plusieurs d'entre eux, que les fissures, qui avaient déjà gagné une bonne partie de l'épaisseur du métal, n'étaient pas toujours dirigées suivant le plan méridien passant par la lumière Cet examen a fait découvrir aussi que pour quelques-uns de ces canons, les fissures principales étaient dirigées suivant deux plans à peu près perpendiculaires entre eux, c'est-à-dire, l'un des plans horizontal et l'autre vertical. Il

faudrait donc aussi augmenter les épaisseurs dans le sens horizontal.

Les fissures s'augmentent graduellement par les affouillements qui s'y forment.

Battements. — Bourlets. — Trainements. — Éraflements. — Evasement. — Egueulement. — Bavures.

Battements. Les battements sont des empreintes produites par le choc du projectile contre les parois de l'ame.

Le logement est une cause première de battement. Le projectile, sortant du logement, est dirigé suivant la tangente à cette dépression, tangente d'autant plus inclinée sur l'axe de la pièce que le logement est plus profond. Le projectile est donc animé d'une vitesse oblique à l'axe de l'ame, dont il frappe la paroi avec une violence qui dépend de sa masse et de la composante de sa vitesse normale à cette surface.

Il y a ordinairement trois battements dans les canons : le premier à la partie supérieure de l'ame en avant des tourillons; le second à la partie inférieure du 2e renfort ou de la volée; et le troisième près de la bouche. De là il résulte que souvent l'angle de départ du projectile est plus grand que l'angle de mire.

Ces trois battements ne sont pas constamment compris dans le plan vertical de tir; c'est pourquoi certaines pièces portent toujours à droite et d'autres à gauche.

Plus le logement est profond, plus les battements sont violents et rapprochés.

Les battements sont peu nombreux dans les pièces à ame courte : ils sont pour ainsi dire nuls dans les mortiers.

Les pièces de fonte, par leur grande dureté, sont faiblement impressionnées par le logement et les battements.

Ces dégradations se montrent promptement au contraire dans les bouches à feu en bronze : elles croissent avec le calibre, avec la charge de poudre et avec le vent du projectile. Nous avons déjà dit que le chargement avec sabot diminuait le logement et les battements, mais qu'il occasionnait un refoulement plus puissant. Il semblerait d'après cela que l'ensabottage serait préférable pour les pièces de bronze, dont la grande ténacité offre une résistance suffisante à l'expansion des gaz; et que le

tir à boulets roulants est avantageux aux bouches à feu en fonte. Mais le mode de chargement est principalement déterminé par certaines conditions de service; c'est aux constructeurs des bouches à feu à prendre des épaisseurs qui garantissent contre les accidents.

Les battements ont quelquefois une profondeur de $0^m,003$ à $0^m,004$ dans les pièces de bronze, ce qui occasionne des chocs tellement violents, que les projectiles peuvent être brisés; et même déterminer la rupture de la pièce, les effets du choc s'ajoutant à ceux de la tension des gaz.

Bourlets. En même temps que le logement se produit dans les pièces de bronze, une partie du métal est refoulée en avant et forme une légère saillie qui a reçu le nom de *bourlet.*

Un bourlet trop prononcé pourrait rendre le chargement impossible avec un projectile, dont le diamètre approcherait de la grande lunette.

Ce défaut peut disparaître par l'action de la lime ou d'une fraise. Il ne parvient d'ailleurs à une dimension exagérée, que quand la pièce est sur le point d'être mise hors de service.

Trainements. Les trainements sont des rayures ou sillons peu profonds occasionnés dans le tir par les aspérités des projectiles, par les empreintes des balles, par les débris des boîtes à balles ou autres projectiles.

Les trainements sont plus nombreux et plus profonds dans les pièces de bronze que dans celles de fonte.

Éraflements. Les éraflements, dans les pièces de fonte, sont des éclats de métal à la paroi de l'ame, produits par le choc d'un projectile ou d'un débris de projectile : dans les pièces de bronze, les éraflements sont des entailles creusées par les arêtes vives des débris de projectile.

Les éraflements sont quelquefois précédés par une sorte de bourlet. Ils se rencontrent principalement dans la volée, leur formation exigeant, de la part du projectile, une certaine force vive qu'il n'acquiert que lorsqu'il a déjà parcouru une partie de la longueur de l'ame.

Évasement. L'évasement est un accroissement de diamètre des orifices de la lumière, de la chambre ou de l'ame.

L'évasement de la lumière, comme nous l'avons déjà expliqué, est dû à la corrosion des gaz aidée par l'action mécanique du courant gazeux.

L'évasement, à l'orifice ou entrée de la chambre, résulte de la force expansive des gaz et de leur effet chimique. Ces deux causes agissent principalement sur les pièces de bronze. Dans les pièces de fonte, l'évasement de l'entrée de la chambre, à peu près nul, est produit presque uniquement par l'action corrosive des gaz.

Près de la bouche du canon, l'évasement est formé par le refoulement du métal, sous les chocs du projectile, et aussi parce que le métal est moins soutenu par les parties environnantes que dans toute autre place.

Égueulement. L'égueulement est un évasement qui a pris un accroissement notable de diamètre.

Il existe à toutes les pièces de bronze après un tir plus ou moins prolongé, tandis qu'il se remarque à peine aux bouches à feu de fonte.

Bavures. Les bavures sont des saillies de métal, sur la tranche de la bouche, provenant de refoulement par les chocs du projectile. Les bavures sont les conséquences de l'égueulement. Les pièces de bronze en sont surtout affectées.

CHAPITRE IV.

VISITE DES BOUCHES A FEU.

ARTICLE I.

VISITE DE L'AME.

Objet de la visite de l'ame.

La visite de l'ame a pour objet de constater :

1° Son diamètre (de l'ame et de la chambre pour les pièces à chambre).

2° Sa longueur.

3° Sa rectitude.

4° Sa concentricité avec la surface extérieure.

5° Les dimensions de la chambre et de son raccordement.

6° Les défauts de forage ou de métal et les dégradations occasionnées par le tir.

Calibrage de l'ame.

Le calibre de l'ame se vérifie avec l'étoile mobile, dans le sens vertical et dans celui horizontal, de $0^m,01$ en $0^m,01$ ou de $0^m,02$ en $0^m,02$, à partir de la bouche. Les intervalles peuvent être rapprochés pour la recherche de certains défauts ou dégradations (le logement, les battements, etc.)

A défaut de pointes convenables pour l'étoile mobile, on peut calibrer l'ame des mortiers avec des croix ou jauges à vernier.

Longueur de l'ame.

La longueur de l'ame est mesurée avec la grande règle à équerre mobile (fig. 7, planche XXXV), garnie des tasseaux qui conviennent au calibre. On emploie aussi fort avantageusement dans ce but, une règle en bois, arrondie à une extrémité et supportée par des tasseaux, qui la maintiennent dans l'axe de la bouche à feu.

Rectitude de l'ame.

Pour s'assurer de la rectitude de l'ame, on y introduit une grande règle plate en acier, qu'on fait reposer, par le petit côté, sur deux génératrices de la surface cylindrique. En Bavière, quand il y a ballottement, on tache d'apprécier les limites de la flèche de courbure qu'il indique, par l'interposition, entre la paroi de l'ame et la règle, de lames ou fils minces de fer ou d'acier d'une épaisseur connue (égale par exemple à la limite de la tolérance sur la courbure de l'ame). Les lames ou fils, sont fixés à l'extrémité d'une tringle en bois, avec lesquels on parcourt la longueur de la règle, en essayant de les faire entrer dans l'intervalle, qui pourrait exister entre cette règle et la partie inférieure de l'ame.

Le curvimètre (planche XXXVIII) peut aussi être employé pour la vérification de la rectitude de l'ame. Mais il est d'une exactitude douteuse pour les motifs que nous avons déjà exposés.

Concentricité de l'ame avec la surface extérieure.

Cette vérification se fait avec le compas d'excentricité (fig. 4 et 6, planche XXXV).

On a proposé différents moyens, pour prendre le prolongement de l'axe de l'ame en dehors de la pièce, et pour en rapporter la surface extérieure au plan vertical passant par ce prolongement. Mais ces procédés donnent lieu à trop de causes d'erreur, pour qu'on puisse les employer avec confiance.

On peut, au reste, se rassurer au sujet de la rectitude de l'ame et de sa concentricité avec la surface extérieure, l'emploi du forage à conducteur, et le mode d'appui de la bouche à feu pendant le forage, sur une *portée* et sur le *teton concentrique* à l'axe de la roue motrice, doivent faire disparaître toute crainte. Les rares déviations, que l'on remarque quelquefois, lors du perçage de la première ouverture cylindrique de l'ame, sont toujours rectifiées *au second passage du foret avec conducteurs en arrière.*

Dimensions de la chambre et raccordement avec l'ame.

Les chambres, pour lesquelles l'étoile mobile n'a pas de pointes, sont vérifiées avec deux échantillons, l'un de réception et l'autre de rebut, dont les diamètres diffèrent entre eux de la tolérance accordée.

Le raccordement de l'ame avec la chambre est reconnue au moyen d'un échantillon.

On emploie, avec succès dans le même but, la règle d'ame terminée suivant la coupe de la chambre et de son raccordement, et garnie sur ses côtés de terre de pipe ou de cire. En chassant cette règle, jusqu'au fond de la chambre, par quelques coups de marteau, la matière plastique se moule sur le raccordement et en représente exactement la forme et les dimensions. On vérifie ensuite cette empreinte avec un échantillon profilé, suivant le tracé de cette partie de l'ame.

Défauts de forage ou de métal et dégradations produites dans le tir.

On éclaire l'ame avec la lumière du soleil réfléchie par un miroir ; et si le soleil manque au moyen d'une bougie allumée, fixée à l'extrémité d'une hampe et introduite dans l'ame ; ou avec la lumière électrique suivant la proposition de Mr Van Ghert.

On examine les défauts intérieurs de la pièce. La présence des ondes, des battements, du logement, des chambres, des égrènements, des affouillements, est en général accusée par des teintes sombres : les saillies se remarquent par des reflets brillants. Lorsque l'ame est polie, les moindres changements à sa surface, sont signalés par des augmentations ou des diminutions dans l'éclat lumineux, et par la perspective de lignes courbes ou brisées. Toutefois, il faut se mettre en garde sur les indications des reflets, qui sont souvent trompeuses ou exagérées.

On promène le chat dans l'ame à diverses reprises, pour reconnaître s'il existe des chambres ou autres cavités. Les défauts étant trouvés, on en détermine exactement la position, qu'on repère, à l'extérieur, sur le corps de la pièce.

Le refouloir à plan incliné (fig. 3) sert à prendre l'empreinte de l'orifice des chambres et autres cavités, ou dépressions sensibles.

Le crochet, pour sonder les chambres (fig. 5), est plus particulièrement utilisé pour en prendre la profondeur. L'étoile mobile, munie d'une pointe mobile mince et déliée, est aussi très-convenable pour cet objet.

Un appareil daguerréotype pourrait être employé fort avantageusement, suivant les indications de M. Van Ghert, à prendre les images des défauts ou de certaines parties de l'ame.

ARTICLE II.

VISITE DE LA LUMIÈRE.

Objet de la visite de la lumière.

La visite de la lumière a pour objet de constater :

1° Le diamètre du canal et les dimensions du calice.

2° La position de l'orifice extérieur.

3 L'aboutissement à la paroi de l'ame.

4° La forme des orifices extérieur et intérieur pour les lumières dégradées.

5° Les chambres et affouillements.

6° L'ajustement du grain de lumière.

Diamètre du canal et dimensions du calice.

Les dimensions de la lumière se vérifient avec deux sondes,

l'une de réception , qui doit y entrer, et l'autre de rebut. Une marque sur la sonde indique la profondeur du calice.

Position de l'orifice extérieur.

L'axe de la lumière doit se trouver dans le plan méridien perpendiculaire aux tourillons , et par conséquent , le centre de l'orifice extérieur doit être sur la trace de ce plan , sur le corps de la pièce. Ce centre doit, en outre , se trouver , à une distance donnée, d'un point situé ordinairement sur la culasse. Pour plus de précision, ce point est pris de préférence sur l'arète vive de l'intersection de deux surfaces de révolution.

On dispose la pièce sur des chantiers , les axes de l'ame et des tourillons horizontaux ; et on vérifie cette position, avec un niveau à bulle d'air (ou autre) placé successivement , sur une double équerre à talons (la double équerre à coulisse et à talons par exemple) reposant verticalement sur les tourillons ; et sur le bout libre d'une règle d'acier introduite en partie dans l'ame.

Ordinairement les bouches à feu neuves conservent les marques du trait carré sur la tranche de la bouche et à la culasse : on en contrôle l'exactitude. Si ces marques n'existent plus, on emploie l'un des moyens indiqués, à l'occasion du centrage des tourillons et du perçage de la lumière , pour trouver les points culminants de la bouche à feu au bourrelet et à la culasse , et l'on unit ces points par une ligne tracée sur le corps de la pièce, suivant un plan vertical. On se sert, à cet effet, soit d'une règle ; soit d'un fil frotté de craie, et tendu entre les points culminants, qu'on fait vibrer pour qu'il laisse sa trace à la surface de la bouche à feu.

On s'assure que le centre de la lumière est contenu dans le plan méridien vertical de la pièce indiqué par cette trace. Il faut ensuite pour les canons mesurer la distance de ce centre à la plate-bande de culasse (ordinairement le derrière de la plate-bande). Cette vérification se fait avec l'étalon à coulisse et à vernier, ou avec tout autre instrument propre à cet objet, tel que la double équerre à coulisse, le compas, etc.

Fort souvent, quand il s'agit de mortiers, on vérifie la distance du centre de l'orifice extérieur de la lumière à la tranche de la bouche , à l'aide d'une règle profilée suivant le corps de la pièce.

Aboutissement de l'orifice intérieur de la lumière.

La vérification de l'aboutissement intérieur de la lumière se fait en passant, au travers du canal, une sonde qui laisse son empreinte sur la règle d'ame, introduite dans la pièce et garnie de terre de pipe ou de cire à la place correspondante.

La bouche à feu est déposée sur des chantiers, l'ame et les tourillons horizontaux.

La règle est exactement profilée suivant le fond de l'ame, et montre sur le côté, l'intersection du prolongement du canal par le plan méridien vertical. La matière plastique est logée dans une petite cavité, ménagée sur le côté de la règle, suivant le prolongement du canal.

La règle doit se trouver dans la position verticale, et arriver exactement au fond de l'ame.

Lorsque l'empreinte est prise, on retire successivement la sonde et la règle. Si la lumière est bien percée, la marque de la sonde se trouve au milieu de l'épaisseur de la règle, à la place indiquée par le tracé du prolongement du canal.

En France, on vérifie la direction du canal de lumière relativement au plan vertical de tir, en employant, pour cet objet, une sonde munie d'une coulisse mobile sur toute sa longueur, et portant un fil à plomb à l'une de ses extrémités.

Les tourillons étant placés horizontalement, on introduit la sonde dans le canal de lumière, de manière que la partie extérieure de la tige soit égale à l'épaisseur du métal. De la déviation du fil à plomb à l'extérieur, on déduit la déviation intérieure.

Forme des orifices extérieur et intérieur pour une lumière dégradée.

Si la lumière est dégradée, on en prend l'empreinte extérieure, en recouvrant l'orifice d'un morceau de papier blanc, qu'on frotte suivant ses bords avec l'ongle du pouce, ou un morceau de bois poli ou autre substance. Il faut avoir soin d'indiquer sur le dessin qui en résulte, la trace du plan méridien passant par l'axe de la lumière, ainsi que les côtés de la culasse et de la bouche.

On prend l'empreinte de l'orifice intérieur avec le refouloir à plan incliné, on s'assure, par la même occasion, quand la pièce est en bronze, si le grain de lumière n'est pas refoulé.

Le miroir réflecteur peut être employé fort utilement, pour reconnaître les aboutissements de la lumière et du grain. On acquiert une idée assez exacte du contour de l'orifice intérieur, en introduisant une bougie allumée dans la pièce sous le canal de lumière, ou y projetant un rayon lumineux, et examinant par l'orifice extérieur.

Chambres et affouillements dans l'intérieur de la lumière.

On passe une première inspection, lorsque la lumière est éclairée par l'un des moyens indiqués ci-dessus. On en reconnaît les chambres et autres cavités. Il faut ensuite employer de petits crochets ou sondes en fil d'acier, recouvert de cire ou d'autre substance plastique, pour en mesurer la profondeur.

Ajustement du grain de lumière.

On examine si le grain est à sa place : si sa surface est bien raccordée avec celle de la pièce : s'il n'y a aucune fissure ou défaut apparent.

ARTICLE III.

VÉRIFICATION DES TOURILLONS, DES EMBASES ET DES RENFORTS.

Objet de la vérification.

La vérification des tourillons porte sur les points suivants :

1° La rectitude des tranches des tourillons et des embases.

2° Le diamètre des tourillons et la perpendicularité des tranches sur les génératrices rectilignes de leur surface cylindrique.

3° Le contour et la largeur des embases.

4° La coïncidence des axes des tourillons suivant une même ligne droite.

5° La distance du derrière des tourillons à la plate-bande de culasse pour les canons et obusiers, celle du devant ou du derrière des tourillons à la tranche de la bouche pour les mortiers.

6° La longueur des tourillons.

7° L'abaissement de l'axe des tourillons.

8° La perpendicularité de l'axe des tourillons au plan vertical du tir.

9° L'écartement des embases et l'égalité de leurs distances au plan vertical du tir.

10° Les dimensions et la position des renforts des tourillons dans les mortiers.

Rectitude des tranches des tourillons et des embases.

On s'assure que les tranches des tourillons et des embases sont bien dressées, au moyen d'une règle qu'on y applique en divers sens.

Diamètre des tourillons et perpendicularité des tranches sur les génératrices rectilignes de la surface cylindrique.

Quand les tourillons sont façonnés sur le tour, il suffit de prendre un diamètre de chacun d'eux avec la double équerre, à coulisse et à vernier. On se sert aussi de deux lunettes : l'une de réception a le diamètre prescrit, et est passée sur le tourillon; l'autre de rebut a $0^m,0005$ en moins, et ne doit pas pouvoir passer.

On vérifie avec une équerre, si les tranches sont perpendiculaires aux génératrices rectilignes de la surface cylindrique.

Contour et largeur des embases.

Lorsque les embases sont tournées, on prend leurs diamètres de la même manière que pour les tourillons. Mais si le contour des embases n'est pas circulaire, on le vérifie en y appliquant la lunette de réception des tourillons, qui est alors façonnée extérieurement suivant ce contour.

Coïncidence des axes des tourillons suivant une même ligne droite.

On appuie les talons de la double équerre à coulisses, sur deux génératrices correspondantes des tourillons : les talons doivent toucher ces génératrices en tous leurs points pour que les axes des tourillons soient dans le prolongement l'un de l'autre.

Distance du derrière des tourillons à la plate-bande de culasse pour les canons et obusiers, et du devant à la tranche de la bouche pour les mortiers.

Cette distance doit être mesurée sur deux points symétriquement placés à droite et à gauche du plan vertical du tir. On a soin de les déterminer, à l'avance, sur la plate-bande de culasse pour les canons et obusiers, et sur la tranche de la bouche pour les mortiers.

On se sert de la règle à fourche (fig. 2, planche XXXIV) pour prendre la distance du derrière des tourillons à la plate-bande de culasse. A cet effet, on glisse la fourche jusque contre le tourillon, et on dirige la règle vers la culasse parallèlement à l'axe de la pièce, la petite branche de l'indicateur vers le corps de la bouche à feu, et amenée contre l'extrémité de la plate-bande de culasse. On lit ensuite, à l'aide du vernier, la distance, qu'il y a, entre cette plate-bande et le derrière du tourillon. Cette opération est répétée pour l'autre tourillon. Ces distances sont égales lorsque l'axe des tourillons est perpendiculaire à celui de la pièce.

Les mortiers n'ayant pas de plate-bande de culasse, on prend d'autres points pour déterminer la position des tourillons : on les marque sur la tranche de la bouche.

La distance du devant des tourillons à la tranche de la bouche des mortiers peut se mesurer, soit avec la règle à fourche et à coulisse, soit avec le compas à branches parallèles (fig. 9 et 10, planche XXXV).

Longueur des tourillons.

La longueur des tourillons se mesure avec une règle à biseau bien divisée, ou avec des gabarits indiquant pour chaque calibre les tolérances accordées.

Abaissement de l'axe des tourillons.

La bouche à feu ayant les axes de l'ame et des tourillons horizontaux, on fait appuyer, suivant un plan vertical, la double équerre, par ses talons, sur les génératrices supérieures des tou-

rillons, et on mesure la distance entre la branche intermédiaire et le corps de la pièce. Cette opération est répétée, après avoir fait faire un demi-tour à la pièce. La moitié de la différence entre les deux distances mesurées, donne l'abaissement de l'axe des tourillons.

On peut aussi faire cette vérification de la manière suivante :

La pièce est disposée de manière que l'axe de l'ame soit horizontal et celui des tourillons vertical. On s'assure de la verticalité des tourillons, avec un fil à plomb appliqué contre la tranche de la bouche, suivant la ligne du trait carré qui leur est parallèle. On place ensuite, sur la tranche du tourillon supérieur, une règle, qu'on dirige horizontalement suivant le plan méridien vertical de la pièce, et on marque sa direction sur la tranche. La distance entre cette ligne, et le centre du cercle du tourillon mesure l'abaissement cherché. Pour placer la règle, suivant le plan méridien vertical de la bouche à feu, on emploie le procédé indiqué à l'occasion du centrage des tourillons. Ce procédé n'est guère usité à la fonderie de Liége, si ce n'est dans les visites d'atelier.

Perpendicularité de l'axe des tourillons au plan méridien de la pièce passant par la lumière.

Cette vérification se fait en même temps, et par les procédés indiqués pour reconnaître la position de l'orifice extérieur de la lumière.

Écartement des embases et égalité de leurs distances au plan vertical du tir.

L'écartement des tranches des embases se mesure avec la double équerre à coulisse et à vernier, ou avec l'étalon à coulisse et à vernier. On vérifie aussi avec ces instruments, ou avec un compas, l'égalité des distances des tranches des embases à la trace du plan vertical du tir sur le corps de la pièce.

On peut aussi employer le moyen suivant, pour reconnaître l'égalité de la distance des embases au plan vertical du tir.

Les tourillons étant horizontaux, on place la double équerre à coulisse, comme si l'on voulait prendre l'écartement des tranches des embases, et l'on dirige un fil à plomb, ou une règle verticale, ou une équerre, du milieu de la branche intermé-

diaire, sur le corps de la pièce. Le fil à plomb, la règle ou l'équerre rencontrent la trace du plan vertical du tir sur le corps de la pièce, lorsque les tranches des embases sont également éloignées de ce plan.

Les tranches des embases de certains modèles de bouches à feu, ne sont point parallèles. Dans ce cas, on mesure, avec la double équerre à coulisse, les écartements maximum et minimum, ou ceux qui doivent exister de chaque côté des tourillons. Un autre procédé consiste à vérifier l'écartement des tranches des tourillons, et à rapporter, à celles-ci, l'écartement des tranches des embases.

Dimensions et position des renforts des tourillons dans les mortiers.

On emploie des gabarits pour vérifier les dimensions, et la position des renforts des tourillons dans les mortiers.

ARTICLE IV.

VÉRIFICATION DES DIMENSIONS EXTÉRIEURES DES BOUCHES A FEU.

Objet de la vérification.

La vérification des dimensions extérieures des bouches à feu comprend :

1° La rectitude de la pièce.

2° La longueur des divers troncs de cône ou partie du corps de la pièce, et la longueur totale, depuis la tranche de la bouche, jusqu'au derrière de la plate-bande de culasse, et depuis celle-ci, jusqu'à l'extrémité du bouton.

3° Le diamètre à chaque extrémité des divers troncs de cône : le plus grand diamètre du bouton ; le diamètre du collet du bouton, du renflement du bourrelet, etc.

4° Les moulures et les raccordements des diverses surfaces de révolution.

5° La rectitude des génératrices rectilignes des divers troncs de cône : la courbure du bouton, du cul de lampe, du bourrelet en tulipe, etc.

6° La forme, les dimensions et la position des diverses parties

saillantes, ou rentrantes, telles que les anses, les visières, les anneaux de brague, etc.

Règle générale. La vérification de l'extérieur a pour objet toutes les dimensions du tracé.

Cette règle se simplifie, dans la pratique, en ne s'occupant que des dimensions prescrites par les réglements. Celui de la fonderie de Liége considère que, parmi les diamètres des parties extérieures, il y en a de principaux.

D'après le réglement sur la visite des bouches à feu en fonte, les principaux diamètres extérieurs des canons sont :

A la plate-bande de culasse.

A la lumière.

A l'extrémité du renfort.

A la naissance de la volée.

Derrière et devant la plate-bande de volée, et à la plate-bande de la bouche.

Au bouton.

A son collet.

Pour les bouches à feu non tournées, et moulées en sable sur modèle en métal, il est évident qu'on peut se borner à prendre les diamètres des parties tournées, comme à la plate-bande de culasse et au plus grand renflement du bourrelet. Les autres diamètres ne pouvant différer entre eux que de quantités admises par les tolérances. Pour ces mêmes bouches à feu, et pour les mêmes raisons, il suffit de prendre les longueurs totales, à partir de la plate-bande de culasse.

Rectitude de la pièce.

Lorsque la bouche à feu est tournée, les diverses parties de sa surface de révolution sont concentriques à un axe unique, ce qui est la condition de rectitude. Mais une pièce de fonte non tournée, peut être affectée d'une arcure. Pour s'en assurer, on applique une grande règle contre le corps de la pièce, successivement dans les quatre positions déterminées sur deux plans méridiens, perpendiculaires entre eux, et dont l'un est parallèle à l'axe des tourillons. On mesure, sur une même section droite, la distance de cette règle au corps de la pièce, pour les quatre positions qui viennent d'être indiquées. Ces distances sont égales, quand le centre de la section est sur l'axe de la pièce. On

répète cette opération aux extrémités des divers troncs du cône, et l'on a tous les éléments pour vérifier la rectitude de la pièce.

Un autre moyen consiste à faire porter la bouche à feu sur deux colliers, et à employer les procédés décrits à l'occasion du centrage des bouches à feu.

Longueur des divers troncs de cône ou parties du corps de la pièce, et longueur totale, depuis la tranche de la bouche jusqu'à la culasse, et depuis celle-ci jusqu'à l'extrémité du bouton.

Ces diverses mesures se prennent avec une grande règle, reposant sur la culasse et sur un controleur placé sur la volée, de manière à obtenir le parallélisme avec l'axe de l'ame.

A défaut de controleur, on peut prendre un tasseau, dont la hauteur est égale à la différence entre le rayon à la culasse, et celui à l'autre point d'appui vers la volée. Cette règle contient des divisions, correspondantes aux longueurs des diverses parties de la pièce, et aux tolérances accordées sur ces longueurs. De ces divisions, on mène une perpendiculaire à la longueur de la règle, jusqu'à la rencontre avec la bouche à feu, et l'on juge du plus ou moins d'exactitude de ces différentes longueurs. Pour avoir la longueur totale du corps de la pièce, on intercepte cette grande règle, par une autre, plus petite, appliquée contre la tranche de la bouche.

Un équerre, ou un fil à plomb, si l'ame est horizontale, sert à projeter l'extrémité du bouton sur la grande règle.

La grande règle à croix, pour mesurer la longueur de l'ame, convient pour cette vérification. Mais, à la fonderie de Liége, où l'on fabrique un grand nombre de bouches à feu, de modèles différents, on se sert ordinairement d'une grande règle en acier ou en bois. On préfère généralement la règle en bois, parce qu'elle est plus légère, et moins sujette à fléchir par son propre poids.

Les longueurs des divers troncs de cônes peuvent aussi se prendre avec la double équerre à coulisse, dont les branches sont dirigées perpendiculairement à l'axe de l'ame, ou avec la règle à biseau : c'est ainsi que l'on procède dans les visites d'atelier.

Diamètre à chaque extrémité des divers tronçons ; le plus grand diamètre du bouton, diamètre du collet du bouton, du renflement du bourrelet, etc.

Les diamètres de ces diverses parties se mesurent avec la double équerre à coulisse, suivant deux plans diamétraux de la bouche à feu, l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à l'axe des tourillons.

Moulures et raccordements des diverses surfaces de révolution.

Les tronçons du corps de la pièce sont raccordés par des moulures ou des plates-bandes, ou par certaines surfaces qui ménagent les ressauts à la jonction de deux tronçons. Ces moulures et ces surfaces de raccordement, n'étant pas des parties essentielles, on les vérifie à l'aide de profils.

Rectitude des génératrices rectilignes des divers troncs de cône : courbure du bouton, du cul de lampe, du bourrelet en tulipe, etc.

Les diamètres aux extrémités des tronçons cylindriques, ou coniques du corps de la pièce ayant été vérifiés, on s'assure de la rectitude de leurs génératrices rectilignes au moyen de la règle. Il est rare, toutefois, que l'on fasse cette vérification.

La coupe ou le profil des autres parties, telles que le bouton, le cul de lampe, le bourrelet en tulipe, sont examinés avec des gabarits découpés en conséquence.

Forme, dimensions et position des parties saillantes ou rentrantes, telles que les anses, les visières, les anneaux de brague, etc.

Les parties extérieures se vérifient avec des échantillons convenablement découpés. On mesure leurs distances, à certaines places de la bouche à feu données par les tables de construction. Presque toujours ces parties sont déterminées relativement au plan vertical du tir. Il faut donc placer la pièce, les axes de l'ame et des tourillons horizontaux.

En général, on se sert, pour cette vérification, des instruments, profils et gabarits employés dans l'ajustage.

Pour les anses, par exemple, on prend la distance de leurs milieux à la plate-bande de culasse, ou à une autre partie connue. On vérifie, avec un patron, leur inclinaison sur le plan méridien de la pièce perpendiculaire à l'axe des tourillons, et on constate en même temps leur écartement. Leur courbure extérieure est reconnue par un gabarit : il en est de même pour leur épaisseur, pour leurs sections droites, etc.

Les grains de mire et les crans de mire, qui doivent être exactement dans le plan méridien perpendiculaire à l'axe des tourillons, sont vérifiés, avec un soin particulier, par l'un des moyens indiqués pour la détermination de ce plan méridien.

ARTICLE V.

VÉRIFICATION DE L'ANGLE DE MIRE NATUREL.

La bouche à feu étant disposée de manière que les axes de l'ame et des tourillons soient horizontaux, on place une grande règle sur les points culminants de la culasse et du plus grand renflement du bourrelet ou de la visière, s'il en existe, et l'on vérifie, avec un quart de cercle à nonius, l'angle que fait cette règle avec l'horizon.

Il est important que l'angle de mire soit rigoureusement exact, et cependant il faut des tolérances dans la fabrication. On satisfait à ces deux conditions, en retouchant légèrement à la lime, les parties trop élevées de la culasse et du bourrelet ou de la visière, de sorte que l'angle de mire soit exactement celui voulu. On contourne ensuite les parties retouchées, suivant la courbure de la surface de la pièce.

ARTICLE VI.

OBSERVATIONS SUR LA VISITE DES BOUCHES A FEU.

La visite de plusieurs bouches à feu de même calibre est plus rapide en l'exécutant simultanément sur toutes les pièces, au moins sur celles que peut renfermer la salle de visite. Les diverses opérations, à mesure qu'elles se présentent, se font successivement, sur chacune des bouches à feu. On évite ainsi les pertes de temps qu'occasionnent les changements d'instruments et la recherche des côtes des dimensions à vérifier.

Lorsque le trait carré est tracé, et que la bouche à feu est disposée, les axes de l'ame et des tourillons horizontaux, il est important de faire toutes les vérifications, qui se rapportent à cette position, et qui sont :

La vérification de la position de l'orifice extérieur de la lumière, relativement au plan vertical du tir. La vérification de l'aboutissement de l'orifice intérieur de la lumière, au moyen de l'empreinte laissée par la sonde sur la règle d'ame.

L'abaissement de l'axe des tourillons. Nous avons indiqué que cette vérification peut aussi se faire, l'axe de l'ame étant horizontal et celui des tourillons vertical.

La vérification de l'angle de mire naturel.

Les procédés, que nous avons exposés sur la visite des bouches à feu, sont des exemples de la marche à suivre, qui n'excluent pas les autres moyens fournis par la géométrie, ou permis par l'emploi de certains instruments, dont la composition, d'ailleurs, peut être fort variée.

En tout cas, les recherches à faire, et les dimensions à constater sont indiquées dans les réglements sur la visite des bouches à feu.

ARTICLE VII.

DÉTERMINATION DE LA PRÉPONDÉRANCE.

Une bouche à feu étant suspendue par les tourillons, qui sont placés en avant du centre de gravité vers la volée, il en résulte un excès du poids de la culasse sur la volée; c'est ce qui s'appelle prépondérance.

La prépondérance a pour but de faire appuyer la pièce sur la vis de pointage, lorsqu'elle est montée sur son affût, comme aussi de l'empêcher de saigner du nez dans le tir : elle est, d'ailleurs, limitée par la condition de permettre le maniement de la vis de pointage.

Nous n'indiquerons que les moyens *de prendre la prépondérance sur les bouches à feu mêmes*, les principes d'après lesquels elle doit être déterminée étant traités dans des ouvrages spéciaux *sur le tracé et la construction des bouches à feu.*

La pièce étant suspendue par les tourillons, on peut considérer son poids comme concentré en son centre de gravité : il en résulte un couple, dont le moment est le produit du

poids de la pièce par son bras de levier qui est la distance, mesurée horizontalement, du centre de gravité à l'axe des tourillons.

Soient :

P Le poids de la pièce.

G La distance de son centre de gravité à l'axe des tourillons.

Nous aurons pour expression du moment du couple, qui tend à faire tourner la pièce autour de l'axe des tourillons.

$$P\,G \quad (1).$$

L'effort p à exercer en un point de la culasse, situé à une distance l de l'axe des tourillons, pour équilibrer la prépondérance, sera trouvé en résolvant l'équation :

$$p\,l = P\,G \ (2) \text{ et par suite :}$$

$$p = \frac{P\,G}{l} \ (3).$$

Si l est la distance du derrière de la plate-bande de culasse à l'axe des tourillons, p exprimera l'effort qu'il faut exercer en ce point pour maintenir la pièce horizontalement : au contraire si l est la distance de la vis de pointage au centre des encastrements des tourillons, p sera la pression contre la vis de pointage.

Pour connaître p, il suffirait d'avoir $P\,G$. Mais, quelle que soit la précision apportée dans l'exécution d'une bouche à feu, il y a toujours des variations inévitables de poids et de position du centre de gravité : variations qui résultent des tolérances accordées sur les dimensions, et du plus ou moins d'homogénéité et de densité du métal. Il faut donc pour chaque pièce déterminer pratiquement le moment $P\,G$, si l'on veut avoir la prépondérance exacte à la culasse ou sur la vis de pointage. A cette fin, on suspend à la volée des poids qui font équilibre à la prépondérance, et maintiennent la pièce horizontalement sur des appuis placés sous les tourillons.

Soient :

Q Le poids du contre-poids suspendu à la volée, fesant équilibre à la prépondérance.

x La distance horizontale du point de suspension du contre-poids Q à l'axe des tourillons, ou son bras de levier.

Le moment du contre-poids Q pris relativement à l'axe des tourillons, est

$$Q\,x : (4)$$

et comme il fait équilibre à la prépondérance, ou au moment du poids de la pièce par rapport au même axe, nous aurons l'égalité :

$$Q\,x = P\,G \quad (5).$$

A (fig. 6, planche XL) Anneau en fer suffisamment solide, terminé inférieurement par des crochets auxquels on suspend les poids *B*.

Figures 4 et 5. Vues de la pièce suspendue par les tourillons sur des appuis horizontaux, et maintenue horizontalement par des poids accrochés à un anneau passé sur l'astragale de la volée.

A A (fig. 4 et 5). Anneau posé sur l'astragale de la volée.

B Poids accrochés à l'anneau.

C C Bouche à feu.

D D Prismes en fer, placés horizontalement sur des chevalets ou des chantiers, et parallèlement à la bouche à feu.

E E Chevalets.

Afin de procurer, à la pièce, une position d'équilibre stable, on la place la lumière en dessous ; et par conséquent l'*axe des tourillons au dessus de celui de l'ame.*

L'horizontalité de la pièce est vérifiée à l'aide d'un petit niveau à bulle d'air introduit dans la bouche, son milieu, autant que possible, à hauteur de l'anneau *A A*. Quand ce niveau est très-léger, une petite erreur, dans son placement, n'a pas d'influence sensible sur la prépondérance cherchée.

Le poids du contre-poids Q se compose des poids *B*, du poids de l'anneau *A A* et de celui du niveau à bulle d'air. Au lieu du niveau à bulle d'air, on pourrait se servir d'un fil à plomb, ou d'un quart de cercle avec lequel on vérifierait la verticalité de la tranche de la bouche : mais ce moyen serait moins exact.

ARTICLE VIII.

LE CENTRE DE GRAVITÉ D'UNE NOUVELLE BOUCHE A FEU N'AYANT ÉTÉ DÉTERMINÉ QUE PAR APPROXIMATION DANS LE PROJET DE CONSTRUCTION, TROUVER PRATIQUEMENT SUR LA PIÈCE, ELLE-MÊME, EN COURS D'EXÉCUTION, LA POSITION DE L'AXE DES TOURILLONS QUI PROCURE UNE PRÉPONDÉRANCE DONNÉE.

Le centre de gravité, d'une nouvelle bouche à feu, peut n'être déterminé qu'approximativement, et ceux qui doivent fabriquer la première pièce de ce modèle, sont quelquefois chargés de trouver la position, qui convient à l'axe des tourillons.

Ce cas se présente souvent, lorsqu'on crée une pièce pour utiliser un affût déjà existant. L'auteur du projet demande alors que la position des tourillons soit telle que la prépondérance sur la vis de pointage, égale une quantité donnée.

Le poids de la pièce et le centre de gravité étant connus par approximation, selon le degré d'exactitude des calculs, il faut, tout en fabriquant le canon, se ménager la possibilité de déplacer l'axe des tourillons.

On achève donc complètement la pièce, à l'exception des tourillons, de leurs embases et des anses, quand il y en a, et l'on admet que la position provisoire de l'axe des tourillons, donnée par le tracé, est exacte dans certaines limites, à 8 ou 10 millimètres près par exemple. Les tourillons et les embases sont coulés avec un excès d'épaisseur égal à la limite de l'erreur, c'est-à-dire 8 ou 10 millimètres en plus sur leurs rayons. Les anses sont coulées pleines avec un même excès de longueur vers chaque extrémité, indépendamment de ce qu'il faut laisser pour l'ajustage.

La grosseur de ces parties ne peut influer d'une manière sensible sur la prépondérance, car leur poids est fort petit relativement à celui de la pièce, et leur position dans le voisinage de l'axe des tourillons, fait que leur moment est insignifiant relativement à cet axe. D'ailleurs, sur un renfort cylindrique, les tourillons et les embases sont rigoureusement symétriques, par rapport au plan vertical passant par leur axe; et sur un renfort conique, la différence, qui en résulte dans le *moment* de ces parties, est négligeable comparée au *moment* de la pièce.

Le premier objet, à rechercher, doit être une détermination plus exacte de la position du centre de gravité. Il faut procéder comme nous l'avons indiqué à l'article précédent.

La pièce, appuyant par ses tourillons bruts sur deux appuis $D\,D$ (fig. 4 et 5, planche XL), est maintenue dans la position horizontale, à l'aide de poids accrochés à l'anneau $A\,A$.

Désignons par :

P' Le poids de la pièce brute.

G' La distance de son centre de gravité à l'axe des tourillons bruts, ou au point de contact avec les appuis $D\,D$.

x' La distance du point de suspension à l'anneau de l'axe des tourillons bruts.

Q' Le poids du contre-poids fesant équilibre à la prépondérance de la pièce brute.

Nous aurons comme précédemment :

$$P'\,G' = Q'\,x' \quad (1).$$

P', Q' et x', étant des résultats de pesée ou d'expérience, sont connues, on en déduit une valeur très-approchée de la distance G' du centre de gravité de la pièce à l'axe des tourillons déterminé dans le tracé. On a :

$$G' = \frac{Q'\,x'}{P'} \quad (2).$$

Soient actuellement :

G La distance à laquelle on veut placer l'axe des tourillons, relativement au centre de gravité, pour avoir, sur la vis de pointage, une prépondérance donnée.

p La prépondérance exigée sur la vis de pointage.

l La distance de la vis de pointage au centre des encastrements des tourillons.

Nous aurons les relations :

$$p\,l = P'\,G, \quad \text{d'où}$$

$$G = \frac{p\,l}{P'} \quad (3).$$

La différence $\pm\,(G' - G)$ est la quantité dont il faut corriger, dans le tracé, la position de l'axe des tourillons pour avoir prépondérance donnée p à une distance l de cet axe.

On marque la position du nouvel axe sur les tranches des tourillons bruts, et on dégrossit ceux-ci sur la machine, en leur laissant un diamètre aussi grand que possible, afin de pouvoir faire une nouvelle correction, si elle était nécessaire. On agit de même avec les embases.

Quant aux anses, on se contente de recouper une de leurs extrémités, de manière que leur milieu coïncide avec le centre de gravité trouvé expérimentalement.

Ces opérations terminées, on pèse la pièce, dont le poids a diminué, et on procède à un nouvel équilibrage (fig. 4 et 5, planche XL).

Il se peut que la prépondérance, ainsi déterminée à une distance l de l'axe des tourillons, ne soit pas précisément p : mais si la différence est notable, on peut répéter l'opération, comme nous venons de l'indiquer, et la nouvelle correction produira certainement le résultat désiré.

CHAPITRE V.

ÉPREUVES DU TIR ET DE L'EAU.

ARTICLE I.

BUT DE L'ÉPREUVE DU TIR.

L'épreuve du tir a pour but de constater la dureté, et la ténacité du métal des bouches à feu : elle doit, par conséquent, donner des indications suffisantes pour reconnaître si l'on peut se servir des pièces avec confiance, et sans avoir d'explosion à craindre.

Les métaux ductiles, tels que le fer forgé, le cuivre, le bronze, s'allongent sensiblement sous la traction avant de se rompre. Lors donc que ces métaux ont supporté certains efforts, sans en être déformés, on est en droit d'en conclure qu'il faut des efforts plus considérables pour en opérer la rupture. De là, vient l'origine des épreuves auxquelles on soumet les bouches à feu. Ces épreuves sont celles du tir, la poudre seule produisant des efforts capables de rompre les pièces.

Cependant, il n'y a pas de substance parfaitement élastique : tout choc, toute pression, si faibles qu'ils soient, laissent une empreinte, amènent une déformation, quoique nous ne puissions

pas toujours les apprécier. Les effets des pressions et des chocs s'ajoutent, et de petits efforts répétés une multitude de fois, sont capables de vaincre les plus grandes résistances. Aussi, l'épreuve des bouches à feu ne peut nous donner d'autres garanties que celles contre un éclatement inopiné, et d'une durée satisfesante.

ARTICLE II.

ÉPREUVES DES BOUCHES A FEU EN BRONZE.

Les pièces de bronze possèdent généralement un excès de résistance : c'est leur dureté, qui doit être principalement éprouvée. La ténacité du bronze est si grande que les bouches à feu de ce métal sont, généralement, mises hors de service par les dégradations de l'ame, bien avant qu'il n'y ait danger de rupture. Ces dégradations sont : le logement, les battements et les affouillements.

Le bronze a la propriété d'augmenter de dureté en s'écrouissant par l'effet du choc ou de la pression. Le tir d'épreuve est donc utile, en ce qu'il procure un peu plus de dureté au métal, et fait, en outre, reconnaître certains défauts. Les petites dégradations de l'ame peuvent disparaître ensuite par un dernier alésage.

Malgré la grande résistance du bronze, on a vu des pièces se crevasser par un simple tir d'épreuve. Mais ces faits sont rares.

L'épreuve des bouches à feu en bronze consiste en quelques coups *à la plus forte charge de guerre.*

Nous croyons utile de faire connaître les épreuves usitées en France et en Angleterre. Nous donnerons celles prescrites en Belgique avec le réglement sur la visite, et la réception des bouches à feu.

Épreuves usitées en France pour les pièces de bronze.

DÉSIGNATION DES BOUCHES A FEU.		NOMBRE DE COUPS.	ANGLE DE TIR.	PROJECTILES.	CHARGES DE POUDRE. K^{os}.	OBSERVATIONS.
Canons de siége et de place de	24	5	5°	1 boulet	6,00	Même chargement que dans les tirs d'école. Boulet roulant entre deux bouchons de foin. Poids des bouchons de foin. Calibre : 24. 16. 12. 8. 0^{ko},440. 0,360. 0,280. 0,200. Les gargousses confectionnées sur mandrin en fonte. Diamètres des mandrins. Calibre : 24. 16. 12. 8. 0,135. 0,119 0,108. 0,095.
	16	5	5°	id.	4,00	
	12	5	5°	id.	3,00	
Canons de campagne.	de 12	5	5°	id.	2,080	
	canon obusier de 12	5	5°	id.	1,594	
	id. id. léger de 12	5	5°	id.	1,594	
	de 8	5	5°	1 boulet	1,468	
Obusiers de	0^m.22	5	5°	1 obus non ensabotté	2,000	Chambre pleine. Les charges introduites dans des gargousses, comme pour les canons. Même chargement que dans les tirs d'école.
	0^m,16	5	5°	1 obus ensabotté	1,500	
	0^m,15	5	5°	id.	1,000	
	0^m,12	5	5°	id.	0,358	
Mortiers de	0^m,32	4	2 à 30° 2 à 60°	1 bombe.	5,385	Chambre pleine. Les charges versées dans la chambre.
	0^m,27	4	id.	id.	3,671	
	0^m,22	4	id.	id.	0,979	
	0^m,15	4	id.	1 obus	0,215	
Pierriers.		4	id.	*	1,224	* Un plateau en bois de 0,045 sur la charge : un panier rempli de cailloux avec lits successifs d'argile pesant 40 à 45 K^{os}.

Épreuves usitées en Angleterre pour les pièces en bronze.

DÉSIGNATION DES BOUCHES A FEU.		NOMBRE DE COUPS.	ANGLE DE MIRE.	PROJECTILES.	CHARGES DE POUDRE.	OBSERVATIONS.
Canons de	12 moyen.	2	»	1 boulet	1ko814 (4 livres anglaises.)	
	12 léger.	2	»	id.	1ko814	
	9	3	»	id.	1ko360 (3 livres anglaises.)	
	6	3	»	id.	0ko907 (2 livres anglaises.)	
	3	3	»	id.	0ko453 (1 livre anglaise.)	
Mortiers.		2	75°	Projectile creux.	chambre pleine.	
Obusiers.		2	12°	id. id.		

ARTICLE III.

ÉPREUVES DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

Les bouches à feu en fonte jouissent d'une dureté satisfesante, mais laissent à désirer sous le rapport de la ténacité. Elles conservent l'ame presque intacte, et ne subissent aucun changement appréciable, dans les dimensions extérieures, jusqu'au moment de leur rupture. Cette absence d'indices d'une ruine prochaine, fait que ces bouches à feu éclatent toujours inopinément. Les résultats en sont déplorables, par la mort des artilleurs, et par l'entrave apportée à la défense, lorsque l'accident arrive en présence de l'ennemi.

Les fortes épreuves sont très-nuisibles, les vibrations violentes, qui en résultent, diminuant la cohésion des molécules. La fonte commence à perdre son élasticité sous un effort

d'environ 250 atmosphères, le $\frac{1}{4}$ ou le $\frac{1}{6}$ de sa résistance absolue, et cet effort est toujours dépassé dans les conditions ordinaires du tir. Il arrive très-souvent qu'une pièce, qui a résisté victorieusement à des charges extraordinaires, succombe ensuite à un tir à faible charge.

Il y a, dans l'appréciation du métal des canons en fonte, une difficulté, qui est augmentée par la nécessité de ne pas affaiblir la pièce, en cherchant à connaître sa résistance.

Pour obtenir des garanties efficaces, on a donc multiplié les épreuves en les appliquant aux matières premières, et aux différentes phases de la fabrication; et on a imaginé les cinq épreuves suivantes :

1° *Épreuve du mélange des minerais* qui doivent servir à la fabrication de la fonte.

2° *Épreuve des fontes* destinées à la fabrication des canons par une 2ᵉ fusion.

3° *Épreuve du mélange des fontes* qu'on se propose d'employer dans les charges des fourneaux à réverbère.

4° *Épreuve ordinaire* des bouches à feu.

5° *Épreuve de contrôle* ou *tir extraordinaire*, d'une ou de plusieurs bouches à feu prises dans une série de 20 ou 30 pièces fabriquées dans les mêmes conditions.

Ces cinq genres d'épreuves ne sont pas en usage dans tous les pays. La plupart des systèmes sont basés sur la 4ᵐᵉ épreuve, concurremment avec une ou plusieurs des quatre autres : en Belgique, on n'emploie que les 2ᵐᵉ et 4ᵐᵉ épreuves.

1° *Épreuve du mélange des minerais.*

L'épreuve du mélange des minerais a pour but de s'assurer, si les qualités des minerais, et la proportion adoptée dans les charges du haut-fourneau, produisent de bonnes fontes à canon. A cet effet, on soumet, au tir, une pièce provenant de ces fontes. Cette épreuve doit toujours être faite, avant de couler des canons en 1ʳᵉ fusion, pour éviter des pertes énormes en cas de rebut.

Le calibre de la pièce, la quotité des charges et le nombre des coups, varient suivant les réglements des diverses artilleries. En France, où il y a des fonderies, qui coulent encore en 1ʳᵉ fusion, le canon d'essai est une pièce de 8, qui doit résister

au même tir à outrance que celui pour la réception des fontes en Belgique, à l'exception que les charges de poudre, pour les coups n°s 21 à 40, sont à la moitié du poids du boulet.

En Russie, l'épreuve se fait, sur un canon de 12, par 10 coups avec un nombre successivement croissant de boulets.

Malgré cette épreuve, on n'est pas certain que les canons, coulés en 1re fusion, offrent la même résistance; car, les minerais, tirés de la même mine, ne sont pas toujours semblables, et la qualité des produits varie, en outre, avec l'allure du haut-fourneau. Un des avantages de la fonte des canons en 2de fusion, consiste dans une résistance moyenne plus uniforme.

Les minerais, qui produisent des fontes d'affinage pour *fer fort*, conviennent généralement pour la fonte à canons. Il n'y a que la quantité de charbon qui doive varier.

En Suède, on ajoute des morceaux de masselottes, des limailles et autres résidus de fabrication aux charges du haut-fourneau dans la proportion de 9 p. $\frac{0}{0}$ de la quantité des minerais.

2° *Épreuve des fontes destinées à la fabrication des canons en 2de fusion.*

Cette épreuve consiste, comme celle du mélange des minerais, à couler un canon d'un certain calibre, avec une partie des fontes présentées en livraison, et à soumettre ce canon à un tir déterminé, variable suivant les diverses artilleries. Nous nous sommes expliqué, dans notre première partie, sur le tir à outrance du canon de 8 usité en Belgique, et sur les moyens d'essayer la fonte.

Les établissements, qui ont fait des fournitures de fontes à canons à la fonderie de Liége, depuis 1817, sont désignés ci-après.

Ont fourni sous le gouvernement Hollandais, les hauts-fourneaux de	Bouvignes	fontes au bois	province de Namur.
	Vaux	id.	id.
	St Aubin	id.	id.
	Rouillon.	id.	id.
	St Roch	id.	id.
	Lavalette	id.	id.

Ont fourni sous le gouvernement Hollandais les hauts-fourneaux de	Yves	fontes au bois	province de Namur.
	Rolly	id.	id.
	Dieupart	id.	province de Liége.
	Seraing	fontes au coke	id.
	Couillet	id.	province du Hainaut.

Ont fourni sous le gouvernement actuel les hauts-fourneaux de	Yves	fontes au bois	province	de Liége.
	Vaux	id.		id.
	Poucet	id.		id.
	Rouillon	id.		id.
	Lavallette	id.		id.
	Leefdael	id.	id.	Brabant.
	St Lambert	id.	id.	Namur.
	Lassoye	id.	id.	Luxembourg.
	Platinerie	id.	id.	Namur.
	Nismes	id.	id.	id.
	Seraing	fontes au coke	id.	de Liége.
	L'Espérance	id.		id.

3° *Épreuve du mélange des fontes qu'on se propose d'employer dans les charges des fourneaux à réverbère.*

L'épreuve du mélange des fontes a pour but de reconnaître quelle est la proportion la plus convenable de fontes de 1re et de 2de fusion pour la coulée des bouches à feu d'un calibre donné. Cette proportion doit être réglée, en ayant égard au diamètre extérieur de la bouche à feu, et aux qualités des fontes. Ce mélange a généralement pour objet de procurer la dureté et l'élasticité, qui conviennent au métal de la bouche à feu, comme aussi, de le mettre à même de résister à l'action corrosive des gaz. Mais il est important, tout en obtenant ces qualités, de ne pas diminuer la ténacité de la fonte. On s'en assure en éprouvant un canon fabriqué avec ce mélange, et le soumettant, soit à un tir continu, soit à une épreuve à outrance.

4° *Épreuves ordinaires des bouches à feu en fonte.*

L'épreuve ordinaire est celle que l'on fait subir à toutes les bouches à feu.

Indépendamment de l'épreuve du tir, on se procure un ren-

seignement, auquel il ne faut accorder qu'une confiance limitée, sur l'intégrité du canon, en le fesant résonner par quelques coups de marteau, appliqués sur la culasse, au renfort et aux divers tronçons du corps de la pièce. Les canons trop gris ou félés rendent un son sourd, tandis que ceux dont le métal est élastique et sans solution de continuité, ont un timbre métallique argentin.

Malgré le danger des fortes charges, la plupart des artilleries éprouvent les bouches à feu en fonte, par des charges plus considérables que celles de guerre. Du reste, il est impossible de reconnaître, parmi les épreuves adoptées, aucune règle, aucune fixité de vue. Nous donnons ci-après, à titre de renseignement, le tableau des épreuves usitées dans quelques pays : quant à celles prescrites en Belgique, nous les ferons connaître en même temps que le réglement sur la visite et la réception des bouches en fonte.

Épreuves ordinaires usitées en France pour les bouches à feu en fonte.

DÉSIGNATION DES BOUCHES A FEU.	PROJECTILES.	CHARGES DE POUDRE.	NOMBRE DE COUPS.	OBSERVATIONS.
				Poudre, gargousses, boulets et valets satisfesant aux conditions exigées pour le service de la flotte. (valets erseaux).
Canons de tous calibres.	2 boulets.	Charge égale à la moitié du poids du boulet.	2	1 valet, 2 boulets, 1 valet.
Obusiers de côte de 0,22.	1 boulet cylindrique pesant 53^{kil}	5,874	2	1 valet, 1 boulet cylindrique de 53^{kil}: poids de deux obus.
Obusiers, caronades et toute autre bouche à feu à chambre.	2 boulets.	chambre pleine.	2	2 boulets, 1 valet.

Épreuves ordinaires usitées en Angleterre pour les bouches à feu en fonte.

DÉSIGNATION DU CALIBRE.		PROJECTILES.	CHARGES DE POUDRE livres anglaises.	NOMBRE DE COUPS.	OBSERVATIONS.
Canons de	42	1 boulet	25 (11ko,33)	2	2 Longs valets de vieux cordages goudronnés.
	32	id.	21 1/2 (9ko,75)	id.	
	24	id.	18 (8ko,16)	id.	
	18	id.	15 (6ko,80)	id.	
	12	id.	12 (5ko 44)	id.	
	9	id.	9 (4ko,08)	id.	
	6	id.	6 (2ko,72)	id.	
	3	id.	3 (1ko,36)	id.	
Mortiers.		1 boulet du calibre.	Chambre pleine	id.	
Caronades.		1 boulet	Chambre pleine	id.	1 Bouchon.

Épreuves ordinaires usitées en Prusse pour quelques bouches à feu en fonte.

DÉSIGNATION DU CALIBRE.	PROJECTILES.	CHARGES D'ÉPREUVES.	NOMBRE DE COUPS.	ANGLES DE TIR.	CHARGES DE GUERRE.	MODE DE CHARGEMENT pour l'épreuve.
Canon long de 24.	1 boulet	10 livres prussiennes	5	6°	8 livres prussiennes	
Canon à bombe de 25 livres Stein.	1 obus mis au poids	12 livres	5	6°	10 livres	
Obusier de 7 livres Stein.	1 obus	1 1/2 livre	5	6°	1 1/2 livre	

Épreuves ordinaires usitées en Hollande pour quelques bouches à feu en fonte.

DÉSIGNATION DU CALIBRE.	PROJECTILES.	CHARGES POUR L'ÉPREUVE.	NOMBRE DE COUPS.	ANGLE DE TIR.	CHARGE DE GUERRE.	MODE DE CHARGEMENT POUR L'ÉPREUVE.
Canon long de 60	1 boulet	$15^{kil},000$	2		$10^{kil}.$	1 boulet, 1 valet.
Canon de 30 long N° 4.	id.	4,750	id.		$4^{kil},750$	1 boulet, 1 valet.
Canon moyen de 30 N° 2.	id.	2	id.		$2^{kil}.$	1 boulet, 1 valet.
Canon de 24 allégé.	id.	3	id.		$3^{kil}.$	1 valet, 1 boulet, 1 valet.
Canon de 12.	id.	3	id.		$2^{kil}.$	1 valet, 1 boulet, 1 valet.
Canon de 6.	id.	1,500	id.	6°	$1^{kil}.$	1 valet, 1 boulet, 1 valet.
Canon obusier lourd de 0,20.	1 obus ensaboté mis au poids	3,750	id.		$3^{kil},750$	
Canon obusier léger de 0,20.	1 obus ensaboté mis au poids	2,500	id.		$2^{kil},500$	
Mortier de 0,29 à grande portée.	1 bombe mise au poids.	Chambre pleine.	id.	1 à 45°		Bombe ensabotée.
Mortier de mer de 0,20,	1 bombe mise au poids.	Chambre pleine 3 kil.	id.	1 à 60°	$3^{kil},000$	Bombe ensabotée.

3° *Épreuves de contrôle.*

Nous avons dit que les épreuves excessives étaient très-nuisibles aux bouches à feu en fonte, et cependant il importe d'avoir une donnée sur leur résistance absolue. Ne pouvant pas soumettre toutes les pièces à une épreuve par surcharge, puisque ce serait amoindrir leur qualité, sous prétexte de l'apprécier, on a imaginé le tir de contrôle.

Le tir de contrôle est un tir extraordinaire, que l'on fait subir à une bouche à feu, prise sur 20 ou 30 pièces provenant d'une même fabrication. La pièce de contrôle est mise hors de service après le tir.

La quotité des charges, et le nombre de coups sont réglés de manière à donner une idée de la résistance minimum que doivent posséder les bouches à feu. Lorsqu'il y a rupture, avant le nombre fixé de coups, toute la série est rebutée. Mais il peut arriver qu'une bouche à feu éclate par une cause fortuite, indépendante de la qualité du métal, telle qu'un calement de boulet, une poudre excessivement brisante, etc.; aussi les réglements de la plupart des artilleries, admettent 2 ou 3 pièces au tir de contrôle.

Par cette manière de procéder, *une seule pièce est sacrifiée* pour la recherche des qualités du métal; et l'épreuve de contrôle est telle, qu'elle donne une haute idée de la résistance des bouches à feu. Toutefois pour que cette épreuve soit concluante, il faut qu'il y ait régularité dans les charges et la conduite des fourneaux, dans la qualité des fontes employées, et dans les procédés de fabrication : car si toutes les pièces d'une même série n'étaient pas fabriquées dans des conditions identiques, et n'offraient pas les mêmes caractères, le succès de l'épreuve dépendrait du hasard, et l'on n'aurait aucune garantie sur la qualité des pièces non éprouvées.

Un gouvernement, qui possède une fonderie de canons, peut se procurer cette uniformité dans la fabrication, d'où résulte l'égalité dans la bonté des bouches à feu. En France, en Belgique, etc., le tir de contrôle n'existe pas : mais il est employé chaque fois que les pièces sont achetées à l'étranger.

Malgré les avantages, qu'obtient un gouvernement, en fabriquant, lui-même, ses bouches à feu, nous pensons, qu'il conviendrait

d'éprouver, de temps en temps, les produits d'une fonderie, par un tir de contrôle, afin d'obtenir l'assurance, qu'une régularité apparente ne masque pas une déviation réelle, soit aux procédés de fabrication, soit à la qualité des matières employées.

Cette nécessité, d'un examen continuel, est si bien comprise, qu'en France, à défaut d'épreuve de contrôle, on a imaginé *le tir extraordinaire*, dont on fait usage chaque fois qu'une pièce, d'une certaine commande, éclate dans l'épreuve ordinaire. Ce tir est employé fort souvent, à la suite d'une rupture inopinée. Nous consacrons le paragraphe suivant à cette espèce de tir.

Les puissances, qui contractent avec la fonderie de Liége, stipulent généralement une épreuve de contrôle : mais celles pour lesquelles cette fonderie travaille habituellement, ont assez de confiance dans la régularité de ses produits, pour ne pas user toujours de l'épreuve de contrôle.

Le tableau suivant donne une idée de la variété des charges dans cette espèce de tir.

Relevé de quelques épreuves de contrôle usitées dans les Pays-Bas et en Prusse.

PAYS.	DÉSIGNATION DES CALIBRES.	PROJECTILES.	CHARGES D'ÉPREUVE.	NOMBRE DE COUPS.	CHARGES DE GUERRE.	MODE DE CHARGEMENT POUR L'ÉPREUVE.
Pays-Bas	Canon long de 60.	2 boulets.	15kos.	15	10kos,00	
	Canon de 30 long nº 4.	id.	7,50	15	4,75	
	Canon moyen de 30 nº 2.	id.	3,00	15	2,00	
	Canon de 24 allégé.	id.	3,00	15	3,00	
	Canon de 12.	1 cylindre du poids de 2 boulets.	3,00	20	2,00	
	Canon de 6.	idem.	1,50	20	1,00	
	Canon-obusier lourd de 0,20.	1 boulet	5,00	15	3,75	
	Id. léger de 0,20.	id.	3,75	15	2,50	
Prusse.	Canon long de 24	2 boulets	12ls	15	8ls	1 boulet ensaboté puis 1 autre boulet sans sabot : 1 valet, sur le sol.
	Canon à bombe de 25ls Stein.	1 boulet	16ls / 12ls	1 / 9	10ls	Sur son affut.

Épreuves dites extraordinaires, usitées en France.

Dans la fabrication des bouches à feu, il importe d'avoir la garantie d'une qualité toujours égale. En France, lorsqu'une pièce éclate dans l'épreuve ordinaire, l'attention est aussitôt éveillée, et l'on tient à connaître si la rupture est produite par une cause fortuite ou accidentelle, ou si elle est le résultat d'un vice dans la fabrication ; dans ce dernier cas, toutes les bouches à feu, coulées dans les mêmes conditions, doivent être mauvaises et incapables d'une forte résistance.

Pour apprécier la valeur de ces pièces, on a recours à un tir de contrôle, nommé *épreuve extraordinaire.*

On procède de deux manières, suivant que les bouches à feu sont coulées en 1re ou en 2me fusion.

Si la bouche à feu éclatée, dans l'épreuve ordinaire, est une pièce de 2de fusion, on en soumet une à l'*épreuve extraordinaire* prise parmi celles éprouvées en même temps et fabriquées avec les mêmes fontes, et dans des circonstances semblables.

Lorsqu'elle résiste, les autres pièces sont admissibles, quand elle fait explosion, au contraire, toute la série est provisoirement rebutée ; et l'on en rend compte au ministre, par un procès-verbal détaillant les circonstances de la fabrication et de l'épreuve et suivi de considérations et avis.

Lorsque la bouche à feu, rompue à l'épreuve ordinaire, est de 1re fusion, on soumet à l'*épreuve extraordinaire* les deux pièces qui ont été coulées immédiatement avant et après. Ces deux pièces de contrôle doivent résister pour que le restant de la fourniture, obtenue par les mêmes matières et procédés, soit admissible. La rupture de ces deux pièces est une cause déterminante de rebut. Si l'une des deux pièces seulement résiste, on fait un nouvel examen des circonstances de la fabrication et des épreuves, et l'on en transmet le résultat au ministre dont on attend les ordres.

Toutes les bouches à feu, qui ont supporté l'épreuve extraordinaire, sont mises au rebut.

Tableau des épreuves extraordinaires usitées en France.

DÉSIGNATION DES BOUCHES A FEU.	NOMBRE DE COUPS.	PROJECTILES.	CHARGES DE POUDRE.	OBSERVATIONS.
Canons	10	1 boulet.	1/3	
	10	2 id.	1/3	
	10	3 id.	1/2	
	10	4 id.	3/3	
TOTAL . .	40			
Caronades	10	1 boulet.	1/8	
	10	2 id.	1/8	
	10	3 id.	1/6	
	10	4 id.	1/4	
TOTAL . .	40			
Canon obusier de 22c.	1	1 boulet cylindrique de 53 kilog.	6 K°.	
	1	2 boulets cylindriques.	id.	
	3	3 boulets cylindriques.	id.	
TOTAL . .	5			
Les autres canons obusiers excepté ceux de 27c.	10	1 boulet.	1/7	
	10	2 id.	1/7	
	10	3 id.	1/5	
	10	4 id.	1/3	
	40			

ARTICLE IV.

ÉPREUVE DE L'EAU.

L'épreuve de l'eau a pour but de reconnaître les fissures produites dans les bouches à feu, à la suite du tir d'épreuve. Elle consiste à boucher la lumière, à remplir l'ame d'eau, sur laquelle on exerce, pendant le temps prescrit par le réglement, une pression également déterminée, et capable de faire suinter l'eau à l'extérieur de la pièce, après avoir pénétré à travers les fissures.

On a essayé, anciennement en Suède, de remplacer l'épreuve du tir par celle de l'eau. A cet effet, on comprimait l'eau au moyen d'une presse hydraulique, avec une pression de 10 à 20 atmosphères. Les premières gouttes qui paraissaient, suintaient dans le voisinage des tourillons.

Mais les résultats de cette épreuve étaient fort variables, tandis que certaines pièces ne se laissaient traverser par l'eau que sous une pression de 20 atmosphères; d'autres d'excellente qualité, et soutenant des épreuves extraordinaires de tir, laissaient filtrer l'eau, même sans aucune pression extérieure.

Ces faits prouvent la porosité de la fonte. Ils servent à expliquer certains affouillements : ils indiquent dans le métal des solutions de continuité, d'où résultent des surfaces irrégulières de rupture.

Cette porosité a été reconnue dans une expérience faite à la fonderie de Liége. On a soumis à une forte pression de l'eau introduite dans des cylindres en fonte. Ce liquide a paru à l'extérieur, aux surfaces de moindre épaisseur, sous forme de rosée, bien avant la rupture du cylindre, et même quelquefois sans qu'il y eut rupture.

Quoi qu'il en soit, la propriété de laisser suinter l'eau, disparait au bout de quelque temps, probablement parce que les pores sont bouchés par l'oxidation.

Les moyens de comprimer l'eau, et la pression à donner, varient beaucoup dans les différentes artilleries.

D'après le réglement belge, on doit placer le canon la bouche élevée, et comprimer l'eau avec un écouvillon garni de grosse toile ou d'un sac à terre graissé. La compression était

autrefois produite par le choc d'un marteau contre la hampe de l'écouvillon.

Mais l'effet de ce choc était très-incertain et il en résultait une pression arbitraire, ce qui ne peut être admis.

La fonderie de Liége emploie, depuis un grand nombre d'années, une sorte de pompe foulante, avec laquelle on produit une pression de 3 atmosphères, et qui remplace l'ancien mode d'épreuve réglementaire. L'appareil consiste en un corps de pompe avec tuyau recourbé à angle droit : en un piston avec levier à bras inégaux : en une plaque de fonte, percée dans son milieu, boulonnée au tuyau recourbé du corps de pompe, et fortement pressée par la face opposée contre la tranche de la bouche : enfin, en quatre tringles ou tirants, reliant la plaque de fonte à deux traverses appuyées contre les tourillons.

La plaque de fonte, de forme carrée, outre l'ouverture circulaire percée en son milieu, a encore quatre fentes ou rainures, suivant les diagonales du carré. Les bouts filetés des tringles s'engagent dans ces rainures, qui leur permettent un écartement plus ou moins grand, selon la grosseur de la bouche à feu. Des écrous, passés sur ces parties filetées, sont resserrés contre la plaque, tandis que les extrémités des deux traverses, appuyées contre les tourillons, sont reçues dans des mortaises ménagées sur les tringles.

L'ouverture circulaire, percée au centre de la plaque de fonte, établit la communication entre le corps de pompe et l'ame. Les surfaces de jonction avec le tuyau recourbé et la tranche de la bouche, sont recouvertes de cuir suifé, afin d'empêcher toute infiltration de l'eau.

Le piston est de forme ordinaire, composé d'un cylindre creux métallique, fermé du côté de la tige, et garni de cuir suifé sur son pourtour. Le cylindre est percé sur sa surface convexe de quatre ouvertures ou soupiraux, qui permettent à l'eau comprimée de passer de l'intérieur à travers ces ouvertures, et de s'interposer entre le piston et sa garniture de cuir. Celle-ci étant pressée contre les parois du corps de pompe, procure une fermeture d'autant plus hermétique, que la pression sur l'eau est plus forte.

Le levier est du second genre, c'est-à-dire avec la résistance ou la tige du piston entre la puissance et le point d'appui. Les bras en sont inégaux, afin d'augmenter l'effet de la puissance qui

consiste dans le poids de l'appareil et d'un poids de 25 kil. suspendu à l'extrémité libre du levier. Le point d'appui est obtenu par une charnière au bout d'une barre de fer verticale, dépendante de la plaque de fonte.

L'appareil est appliqué au canon couché horizontalement sur deux chantiers, le corps de pompe vertical.

Figure 8 (planche XL) Vue de la bouche à feu garnie de l'appareil.

A B Bouche à feu.

C D E Corps de pompe avec tuyau recourbé.

F Piston, cylindre creux, fermé par en haut et ouvert par le bas; ce qui permet à l'eau d'entrer dans l'intérieur du cylindre, de sortir par quatre ouvertures percées dans ses parois, de s'interposer entre le piston et la garniture de cuir, et de presser celle-ci contre la surface intérieure du corps de pompe.

G Point d'attache de la tige du piston.

K Charnière du levier du corps de pompe.

K L Levier du corps de pompe.

M Contre-poids pesant 25^{kil} pour une pression de 5 atmosphères.

(Figures 7 et *HI* fig. 8) Plaque en fonte.

a b.... *a b* (fig. 7) Rainures percées dans la plaque, suivant les diagonales.

C Appui à charnière du levier du piston.

(*E E* fig. 7 et *E* fig. 8) Ouverture circulaire percée dans la plaque, établissant la communication entre le corps de pompe et l'ame de la pièce.

N N (fig. 8) Traverses en fer, retenues par les tourillons.

P P (fig. 8 et 9) Tringles ou tirants en fer, reliant la plaque de fonte *H I* aux traverses *N N*.

o o.... *o*. (Fig. 9) Mortaises destinées à recevoir les extrémités des traverses *N N* (fig. 8) et permettant de varier la distance entre ces traverses et la plaque de fonte *H I* (fig. 8) selon la longueur de la bouche à feu.

P Q (fig. 8 et 9) Bout fileté de la tringle sur une assez grande longueur.

R R (fig. 8) Écrou passé sur le bout fileté de la tringle et resserré contre la plaque *H I*.

L'appareil étant monté, on fait sortir le piston *F* (fig. 8) du corps de pompe : on bouche la lumière avec une cheville de

bois bien graissée, et on remplit d'eau l'ame et le corps de pompe. On introduit ensuite le piston, et on charge l'extrémité du levier du contre-poids *M*. Celui-ci, agit en vertu de son poids et de la longueur de son bras de levier *L K*, comparé à *G K*, bras de levier de la résistance.

On laisse agir le contre-poids *M* pendant 24 heures, et on vérifie si l'eau ne suinte pas au travers le métal de la pièce.

Des fissures peuvent quelquefois se découvrir aux pièces de bronze, surtout vers le bourrelet : une seule fois on a remarqué un suintement à une pièce de fonte, encore était-elle à parois diminuées. L'épreuve de l'eau avait été faite après un tir extraordinaire avec des projectiles cylindriques. La volée s'était fendue.

L'épreuve de l'eau doit se faire immédiatement après le tir aux pièces de fonte ; car, 24 heures après, toutes les fissures peuvent être bouchées par l'oxidation et le resserrement du métal. Cette épreuve est parfaitement inutile, pour les pièces de fonte soumises au simple tir ordinaire de réception. Elle ne convient réellement que pour les canons de contrôle.

L'appareil de la fonderie de Liége, que nous venons de décrire, présente l'inconvénient de produire des frottements énormes, par la pression de la garniture de cuir du piston contre les parois du corps de pompe.

En France, d'après l'ouvrage de M. Emy, on se sert d'une presse hydraulique.

Nous croyons que, tout en conservant le mode de jonction à la bouche, réalisé dans l'appareil de Liége, il conviendrait de refouler l'eau par une pompe foulante, et d'employer un manomètre pour s'assurer de la pression.

Certaines puissances, comme la Bavière, emploient des appareils, en quelque sorte improvisés, pour communiquer la pression voulue à l'eau.

Un écouvillon entouré d'une toile suifée sert de piston.

La hampe recoupée de l'écouvillon tient lieu de tige du piston. Un levier ordinaire est attaché par un bout au tourillon de la pièce, placée verticalement. Une cavité, percée dans le levier, sert à le maintenir sur la tige de l'écouvillon, et des contre-poids suspendus à l'extrémité libre de ce levier, agissent sur l'eau, par l'intermédiaire de l'écouvillon pour lui imprimer une pression déterminée.

ARTICLE V.

ÉPREUVE DU TRACÉ DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

Lorsqu'on introduit une nouvelle bouche à feu dans le service, il est indispensable de s'assurer si elle offre des garanties suffisantes de sécurité. Le réglement sur la fonderie de Liége, pour la réception des canons en fonte, contient ce qui suit :

Quand il s'agit d'introduire l'usage d'une nouvelle bouche à feu, on doit s'assurer qu'on lui a donné les dimensions convenables pour qu'on puisse s'en servir sans danger. A cet effet, on la soumet à des épreuves extraordinaires, qui exigent de la fonte et de la bouche à feu une résistance incomparablement plus forte que celle reconnue nécessaire pour soutenir les efforts que la bouche à feu peut avoir à supporter dans le service.

En France, l'épreuve extraordinaire pour l'adoption d'un nouveau tracé est la même que celle indiquée à l'article III de ce chapitre, au paragraphe intitulé : *Épreuves extraordinaires usitées en France.*

La Hollande semble avoir admis le même mode d'épreuve : car les nouveaux canons de marine de 60 et de 30 long et lourd qui ont été fabriqués à la fonderie de Liége, pour cette puissance, ont dû subir les épreuves suivantes avant qu'on n'en fasse la commande.

Tableau des épreuves extraordinaires qu'ont dû supporter les canons de 30 et de 60, nouveau modèle hollandais, pour leur admission dans le service.

DÉSIGNATION DE LA BOUCHE A FEU.	POIDS DU BOULET.	CHARGE ORDINAIRE DE GUERRE.	NOMBRE DE COUPS D'ÉPREUVE.	CHARGE DE POUDRE	NOMBRE DE BOULETS A CHAQUE COUP.
Canon de 30 long et lourd.	14^{kos},600	5^{kos}	10	4^{kos},660	1
			10	4,660	2
			10	7,000	3
			10	8,400	4
			40		
Canon de 60 long et lourd.	28^{kos},000	10^{kos}	10	9,330	1
			10	9,330	2
			10	14,000	3
			10	16,800	4
			40		

En Russie, on éprouve le canon de nouveau modèle, en le soumettant à un tir semblable à celui du canon de 12 pour la réception des fontes, et prenant, à cet effet, des charges proportionnelles de poudre et de projectiles.

La fonderie de Liége a fabriqué pour la Prusse 42 canons à bombe de 0^{m}, 22, sur lesquels il y en a eu deux de contrôle. L'un d'eux, après avoir subi l'épreuve de contrôle, consistant en :

1 coup à 16 livres de poudre et 1 boulet
9 id. 12 id. id. id.

a encore résisté, sans éclater, au tir extraordinaire suivant :

1 coup à 12 livres de poudre et 1 boulet.
1 id. 12 id. id. 2 id.

1	coup à	12	livres de poudre	et	3	boulets.
1	id.	12	id.	id.	4	id.
1	id.	12	id.	id.	5	id.
1	id.	12	id.	id.	6	id.
1	id.	12	id.	id.	7	id.
1	id.	12	id.	id.	8	id.
1	id.	15	id.	id.	8	id.
1	id.	18	id.	id.	8	id.
1	id.	21	id.	id.	8	id.
1	id.	24	id.	id.	8	id.
1	id.	27	id.	id.	8	id.

La charge ordinaire de guerre de cette bouche à feu est de 10 livres et 1 bombe.

De semblables épreuves démontrent l'excellence du tracé des canons à bombe prussiens, et la bonté des produits de la fonderie de Liége.

On n'est pas encore entièrement fixé sur la manière d'éprouver une bouche à feu d'un nouveau modèle.

Les pièces peuvent consommer des quantités de poudre bien différentes, selon que les charges sont régulières et modérées, ou extraordinairement fortes ; et la consommation, jusqu'au moment de l'éclatement, est bien plus grande dans le premier cas que dans le second. De même, on dépense une quantité de travail bien plus considérable, pour rompre la fonte sous de petits chocs que sous des chocs violents. Il en résulte qu'il y a deux manières d'éprouver les bouches à feu, l'une *par le tir continu* avec la plus forte charge de guerre, et l'autre par l'*épreuve extraordinaire*.

Le tir continu donne une idée exacte du service que peut rendre une bouche à feu, avec la charge pour laquelle elle est construite, et en définitive, c'est cette notion qu'il importe d'avoir. Mais ce tir entraîne à une forte dépense d'argent, par la consommation énorme de poudre et de projectiles qu'il occasionne, et il exige beaucoup de temps pour son exécution.

Les partisans de l'épreuve extraordinaire, outre l'économie de la dépense et la promptitude de l'exécution, font valoir, que bien souvent dans le trouble et la chaleur d'une action, les artilleurs peuvent se tromper, et mettre deux charges l'une sur l'autre, et qu'il importe cependant, dans l'intérêt de la défense, que la pièce n'éclate pas malgré cette surcharge. D'ailleurs, bien souvent on force à dessein la charge d'une bouche à feu : la marine tire, quel-

quefois, deux boulets à la fois, ou un boulet et une boîte à balles : enfin, il est de toute nécessité que la pièce possède un grand excès de résistance.

Nous pensons que les uns et les autres ont raison, et que l'épreuve d'un nouveau tracé, doit se faire en soumettant quelques pièces au tir continu, et d'autres pièces au tir extraordinaire.

La combinaison de ces deux genres d'épreuve, ne peut être contestée, car, il n'y a pas de relation connue, entre la propriété, qui fait résister à un petit nombre de coups à charges extraordinaires, et la faculté que possèdent certains canons, de résister à un nombre considérable de coups modérés. La première de ces propriétés, réside essentiellement dans la ténacité du métal, et la seconde dépend de la ténacité et de l'élasticité réunies. Nous ne voulons pas poser une règle absolue, mais nous ferons remarquer que fort souvent, les canons en fonte grise résistent mieux aux fortes charges de poudre, tandis que ceux en fonte truitée paraissent les plus propres à fournir une longue carrière de coups modérés. Il suit de là, qu'il peut y avoir des canons en fonte très-truitée ou même grise, qui supporteraient un nombre considérable de coups à la charge de guerre, avec une poudre ordinaire, et qui éclateraient inopinément avec le plus petit excès de charge, ou avec une poudre plus vive.

ARTICLE VI.

DURÉE DES BOUCHES A FEU EN BRONZE.

L'instruction de 1852, sur le matériel de l'artillerie belge, précise le cas où une pièce de bronze doit être mise hors de service : c'est lorsque la profondeur du logement est de plus de $4^{mm},5$ pour les canons et obusiers longs, et de plus de 6^{mm} pour les mortiers et obusiers courts.

L'emploi des gargousses allongées semble avoir considérablement augmenté la durée des bouches à feu. L'avantage est remarquable pour les pièces de siége, qui ne tiraient guère au delà de 600 coups. L'aide mémoire de l'artillerie française contient les données intéressantes que voici :

Relevé des durées moyennes des bouches à feu réformées après avoir servi aux exercices des polygones. (Pièces de bronze).

Canons de	24	2217	coups, moyenne	prise sur	14	bouches à feu
	16	2706	id.	id.	22	id.
	12 de place .	1917	id.	id.	5	id.
	12 de campagne	2502	id.	id.	21	id.
	8 id.	2602	id.	id.	23	id.
Obusiers de	0,22 . . .	2300	id.	id.	25	id.
	0,16 . . .	2425	id.	id.	20	id.
	0,15 . . .	3057	id.	id.	11	id.
	0,12 . . .	1363	id.	id.	3	id.
Mortiers de	0,32 . . .	3109	id.	id.	3	id.
	0,27 . . .	3024	id.	id.	14	id.
	0,22 . . .	3297	id.	id.	25	id.
Mortier éprouvette		1227	id.	id.	8	id.

ARTICLE VII.

DURÉE DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

Les bouches à feu en fonte se conservant presque intactes, jusqu'au moment de leur rupture, le seul indice, que recommande l'instruction précitée de 1832, est l'état de la lumière, qui entraîne la mise hors de service, lorsqu'une sonde plate de 15mm de largeur peut y passer. Cet indice n'est pas suffisant, pour prévenir les accidents, car la rupture d'une pièce en fonte peut arriver bien avant que l'évasement de la lumière permette l'introduction de cette sonde.

Les accroissements du calibre de l'ame ne peuvent pas davantage servir de règle. D'après le relevé suivant des épreuves à outrance de 13 canons de 8 en fonte faites à la fonderie de Liége dans ces derniers temps, l'accroissement maximum de calibre,

observé à 1^{m} 50 de la bouche, n'a pas dépassé $0^{mm},9$: et cependant ces canons, étant coulés avec toutes fontes de 1re fusion, sont moins durs que les autres, coulés habituellement avec un mélange de $\frac{1}{5}$ de fontes de 2de fusion.

Tableau des accroissements maximum de calibre dans le sens vertical, observés avant le coup d'éclatement sur 13 *canons de* 8 *en fonte, éprouvés à outrance.*

FONTES.	COUPS D'ÉCLATEMENT.	DATES DES TIRS.	Accroissements dans le sens vertical au coup avant l'éclatement à $1^{m}50$ de la bouche.	OBSERVATIONS.
Poucet.	57^{e}	12 Mai 1854.	$0^{mm},7$	Fonte au bois
id.	57^{e}	3 Août	0,6	id. id.
Seraing.	56^{e}	23 Septembre	0,2	id. au coke
Poucet.	57^{e}	23 Novembre	0,3	id. au bois
Lassoye.	57^{e}	21 Décembre	0,4	id. id.
Poucet.	58^{e}	9 Janvier 1855	0,4	id. id.
id.	58^{e}	10 Juillet	0,6	id. id.
Lassoye.	56^{e}	26 Décembre	0,3	id. id.
Poucet.	57^{e}	26 Janvier 1856	0,6	id. id.
Lassoye.	56^{e}	23 Mai	0,9	id. id.
Poucet.	57^{e}	9 Juin	0,3	id. id.
id.	57^{e}	12 Août	0,6	id. id.
id.	57^{e}	29 Novembre	0,5	id. id.
Canon de mélange.	59^{e}	13 Sept. 1849	0,4	
id.	58^{e}	8 Janvier 1850	0,8	
3/4 fonte d'Yve au bois. 1/4 id. fonte de Seraing au coke.	58^{e}	7 Décembre	0,7	
Canon de mélange. 3/5 fonte au bois 1re fusion. 1/5 fonte au coke 1re fusion. 1/5 fonte 2de fusion.		23 Sept. 1851	$0^{mm}.5$ après 55 coups : il a éclaté plus tard au 58e coup.	

L'accroissement vertical maximum de l'ame du canon à bombe de 0^m 22 prussien, après les tirs de contrôle et extraordinaire, que nous avons rapportés, ne dépassait pas 0^{mm},66.

Les pièces de petit calibre, et celles de gros calibre, mais à chambre, supportent en général un nombre très-considérable de coups, quand le tracé est convenablement fait.

Des canons de 6 et de 12 ont supporté jusqu'à 2,500 coups et plus. Certains canons de 24 ont été jusqu'à 800 coups, et d'autres jusqu'à 1200. Un canon obusier de 24, système de M. le général Timmerhans, a tiré 3500 coups : les canons-obusiers de 0^m,22, système français et prussien, paraissent avoir une résistance extraordinaire.

Les expériences de l'école de Lafère constatent que des pièces de 16 et de 24 en fonte ont soutenu jusqu'à 2100 coups.

La fonderie de Liége peut citer avec orgueil beaucoup d'expériences, qui justifient sa bonne réputation, et prouvent l'utilité des pièces en fonte.

Mais ces brillants succès, obtenus sous la direction de M. le colonel Frédérix, n'empêchent pas les pièces en fonte d'être exposées aux ruptures inopinées ; et nous pensons qu'il serait prudent de vérifier leurs tracés, pour s'assurer si les épaisseurs adoptées suffisent pour prévenir les accidents. Les perfectionnements apportés dans la fabrication de la poudre, la pureté de ses composants, et la grande combustibilité des poudres neuves, rendent cet examen nécessaire.

Notre opinion n'est nullement, qu'il faut priver l'artillerie des avantages que procure une augmentation dans la force de la poudre ; mais si la force *motrice* change, nous pensons qu'il est rationnel de modifier aussi la bouche à feu, ou l'engin qui doit l'utiliser.

ARTICLE VIII.

EFFETS DU TEMPS SUR LA RÉSISTANCE DES BOUCHES A FEU EN FONTE.

On a posé la question de savoir si le temps seul peut diminuer la résistance des bouches à feu en fonte.

Un canon de 12 en fonte de Suède, coulé depuis 50 ou 60 ans, ayant été soumis à un tir à outrance, avec des charges proportionnelles à celles en usage pour le canon de 8, a éclaté au 52e coup. La pièce aurait dû supporter 4 coups de plus à 5 ^{kos},600 de poudre et 6 boulets, pour que la fonte fût encore de réception. Cette pièce

avait été soumise en Suède à l'épreuve ordinaire, mais qui cependant n'est pas comparable à ces 4 coups. Si l'on pouvait tirer une règle de ce seul fait, on devrait en conclure que le canon a été affaibli par le temps seul, surtout eu égard à la bonne réputation des fontes suédoises.

Un canon de 9 anglais, correspondant à peu près au calibre de 8, et ayant aussi 50 à 60 ans d'existence, a été soumis à la même épreuve à outrance, et n'a éclaté qu'au 59e coup.

Ces deux expériences ne sont pas aussi contradictoires qu'elles le paraissent. En effet, on peut demander la preuve que la pièce anglaise n'était pas encore plus résistante, au moment où elle a été coulée, car on sait que certains canons de 8 supportent des tirs vraiment surprenants ; de plus nous ferons observer ce qui suit :

L'épaisseur de cette pièce à la lumière, et la grandeur du vent, suivaient une progression beaucoup plus forte que celle généralement admise pour la construction des pièces : de plus, le diamètre de la lumière avait déjà 6^{mm} *avant le tir, tandis que celui de la lumière du canon de* 8 *n'en a que* 5^{mm}.

Ce fait porte à admettre l'efficacité des fortes épaisseurs autour de la charge, et prouvent que l'augmentation du vent et de la lumière diminuent considérablement la tension des gaz, en leur permettant de s'échapper pendant qu'ils se forment.

Il serait cependant téméraire de déduire une loi de deux expériences, faites dans des conditions si différentes ; mais la question de la durée des bouches à feu est importante, et mérite d'être étudiée.

Le peu de ductilité de la fonte expose les pièces à des causes incessantes de désagrégation. La congélation du métal, après la coulée, même lorsqu'elle est faite dans les circonstances les plus favorables, met un certain nombre de molécules dans une position forcée. Nous en trouvons la preuve, dans la grande porosité du métal suivant l'axe de la pièce ; dans son inégale densité, qui augmente depuis le bourrelet jusqu'à la culasse, et depuis l'axe jusqu'à une petite distance de la surface extérieure ; et dans la dureté du métal, plus considérable à la surface qu'à l'intérieur de la bouche à feu, ainsi que dans les parties le plus promptement refroidies.

Cette position forcée des molécules, détermine, entre les forces moléculaires, une certaine tension, qui agit à la manière des

charges permanentes, et l'on sait que les corps se rompent sous des charges permanentes, beaucoup plus faibles, que celles qu'ils pourraient supporter instantanément. La diminution de cohésion, qui résulte de cette tension, est rendue manifeste par la facilité qu'il y a à faire sauter en éclats, la croûte blanche formée par un prompt refroidissement à la surface des canons; par les effets de la trempe, qui suffit pour briser en morceaux les plus gros boulets; par les ruptures inopinées et violentes, que l'on remarque quelquefois sur des plaques en fonte, sur des plates-formes, des roues à engrenages, etc., plusieurs heures, plusieurs jours et même quelquefois plusieurs mois après leur coulée.

Les dilatations et contractions successives, que déterminent les variations de température, et les vibrations occasionnées par le tir, mettent les molécules en mouvement, et affaiblissent la force de cohésion, par l'imperfection de l'élasticité et par le peu de ductilité de la fonte.

On doit cependant se rassurer en considérant la lenteur de ces causes de destruction.

ARTICLE IX.

CONSIDÉRATIONS SUR LES CANONS EN FONTE; LEUR FONDAGE ET LEURS EPREUVES.

Effets d'une fusion prolongée sur la fonte; nécessité de diverses qualités suivant le calibre des bouches à feu.

La fonte se rapproche d'autant plus de l'acier, par sa composition, qu'elle contient moins de carbone et de substances étrangères : mais il ne faut pas qu'elle devienne blanche, car alors elle serait cassante, comme l'acier trempé. En coulant à une haute température, et laissant refroidir lentement le métal dans le moule, cette partie de la fonte. d'une couleur plus claire ou blanche, qui enveloppe les grains graphiteux après la congélation du métal, se dépouille d'autant plus du carbone et des autres substances étrangères, (par leur concentration dans les grains graphiteux et vers l'axe de la pièce, et par la formation des laitiers qui surnagent) que la température a été plus élevée, et le refroidissement plus lent : et cependant, la fonte acquiert une teinte plus grise, tout en se rapprochant davantage de l'acier. Le refroidissement et la congélation sont d'ailleurs d'autant plus prompts, que le calibre est plus petit et la fonte moins carburée.

D'un autre côté, les fusions prolongées changent la nature du métal, et altèrent sa composition, sa fluidité et son homogénéité.

Il en résulte, qu'il y a, pour chaque calibre, une espèce de fonte préférable. La proportion du mélange des fontes neuves avec les vieilles fontes doit donc varier avec la grosseur de la bouche à feu, et suivant la nature des métaux mélangés.

Utilité pour l'artillerie de posséder des hauts-fourneaux pour la fabrication des fontes à canons.

La fabrication des canons dépend de deux choses distinctes : *la production de la fonte* et *sa mise en œuvre*. Toutes deux sont susceptibles de suivre les progrès de la métallurgie ; mais quand les fontes sont fournies par le commerce, comme c'est le cas pour la fonderie de Liége, l'artillerie ne peut faire progresser que *la mise en œuvre*, et *la production de la fonte* échappe à son action. On ne saurait cependant contester la nécessité d'avoir les meilleures fontes à canons.

But réel de l'épreuve ordinaire.

L'épreuve ordinaire ne peut avoir qu'un but moral, car elle affaiblit la pièce, et ne donne pas même la garantie que celle-ci n'éclatera pas au premier conp tiré, même avec une faible charge. Il importe que l'artilleur ait confiance dans sa pièce, et pour cela il faut que celle-ci ait déjà tiré, car l'homme se familiarise avec les périls qu'il a déjà affrontés, ou qu'il sait avoir été bravés par d'autres que lui, et cependant le danger d'une rupture inopinée augmente d'un coup à l'autre.

Les charges pour l'épreuve ordinaire, doivent être celles de guerre ; plus fortes elles fatigueraient inutilement la bouche à feu ; plus faibles, il serait puéril de les employer, puisqu'elles diminueraient la confiance des artilleurs, en fesant voir combien peu les fondeurs en ont eux-mêmes.

Moyens d'obtenir des garanties sur la qualité des bouches à feu en fonte.

La véritable garantie doit consister dans la qualité des fontes, et leur mode de réception ; dans la perfection et la régularité des procédés de fabrication ; dans un mode d'épreuves babilement

combinées, qui, en sacrifiant quelques pièces sur une série, permette de former un jugement sur la résistance probable des autres.

Nécessité d'introduire des fontes de 2e fusion dans les charges des fourneaux à réverbère.

Les fontes de 1re fusion seules ne peuvent former un métal à canon suffisamment dur et élastique, et résistant à l'action corrosive des gaz. Telles sont du moins les fontes de Belgique, et celles d'un grand nombre d'autres contrées. Indépendamment de la question d'économie, ce serait une méthode dangereuse, de vouloir leur procurer les qualités, qui leur manquent en prolongeant assez la fusion au fourneau à réverbère pour les amener, par la décarburation au truité convenable. En effet, l'aspect extérieur des fontes est souvent trompeur, et dépend des dimensions de l'échantillon, du plus ou moins d'humidité du sable qui formait le moule de la gueuse lors de la coulée, etc. D'un autre côté, il est encore bien plus difficile d'estimer ce qui résulterait d'une fusion prolongée; car l'allure du fourneau est variable, ainsi que son action sur le métal en fusion; les parties supérieures du bain exposées trop longtemps à l'action de la flamme, se décarbureraient plus fortement et s'affineraient en partie : les parties affinées étant moins fusibles, resteraient à l'état pâteux, ne se mélangeraient plus avec le restant du métal liquide, et l'on obtiendrait après la coulée, une fonte manquant d'homogénéité.

Epreuve dite du mélange des fontes.

Le mélange des fontes vieilles avec les fontes neuves est indispensable; mais ce qui ne l'est pas moins, c'est de connaître la proportion qu'il convient d'adopter, eu égard au calibre de la pièce, et à la nature des fontes dont on dispose. Enfin, il faut avant tout, constater que le mélange adopté n'a pas diminué la résistance des canons. On s'en assure par l'épreuve dite du mélange des fontes.

M. le Colonel Frédérix a fait faire, à la fonderie de Liége, plusieurs canons de 8 de mélange, qui ont été soumis à l'épreuve à outrance réglementaire. Ils ont tous résisté au nombre fixé de coups pour la réception des fontes, et ont en outre supporté plusieurs coups, à 15 boulets et 16 livres de poudre.

L'auteur ayant négocié, en 1851 avec la Hollande, une commande de 104 canons de 12 et 104 canons de 6, il fut stipulé dans le contrat, que les charges du fourneau à réverbère seraient toutes formées des mêmes proportions de fonte, savoir :

$^3/_5$ fontes de 1re fusion au bois

$^1/_5$ id. id. au coke.

$^1/_5$ en masselottes, restes de coulée et autres fontes de 2e fusion.

Le canon de 8 coulé avec ce mélange n'a éclaté qu'au 58_e coup.

Le calibre de 8, intermédiaire entre le 12 et le 6, convenait pour cette épreuve. Mais ce serait une erreur de croire, que la ténacité des mélanges, pour les différentes bouches à feu, doit être constatée par le tir d'un canon de 8 : car nous avons dit, que les qualités de la fonte variaient avec le degré de vitesse du refroidissement du métal après la coulée, et que ce refroidissement est d'autant plus lent que le diamètre de la bouche à feu est plus grand. Telle fonte serait tenace et ductile dans un canon à bombe de 0m,29, qu'elle serait cassante pour un canon de 8, et ne pourrait même pas être forée.

L'épreuve du mélange, doit donc être faite, avec une pièce du calibre auquel le mélange est destiné. Cette épreuve devant principalement constater la ténacité du métal, nous pensons que, par mesure d'économie, on peut se passer du tir continu (qui serait cependant préférable) et procéder à un tir à outrance, qui serait ou *l'épreuve extraordinaire usitée en France*, ou un tir de contrôle, ou une épreuve (pour les canons) dans laquelle la quotité des charges, et le nombre de boulets suivraient la même progression que pour le canon de 8.

Lorsque l'artillerie possède des hauts-fourneaux, elle a à sa disposition un certain nombre de variétés de fontes dont les propriétés sont connues : elle peut alors former des mélanges avec ces fontes et avec celles de 2e fusion, et indiquer ceux à suivre d'après le calibre des pièces, et suivant les approvisionnements.

C'est une considération de plus en faveur de l'idée que nous avons émise de voir l'artillerie belge diriger un haut-fourneau au bois destiné à la fabrication des fontes à canons.

CHAPITRE VI.

REGLEMENTS DE LA FONDERIE DE LIÉGE SUR LA VISITE, L'ÉPREUVE ET LA RÉCEPTION DES BOUCHES A FEU EN BRONZE ET EN FONTE.

ARTICLE I.

REGLEMENT SUR LA VISITE, L'ÉPREUVE ET LA RÉCEPTION DES BOUCHES A FEU EN BRONZE.

Les bouches à feu sont tournées et finies extérieurement avant d'être présentées à la visite ; elles ne conservent que l'excédant du bouton de culasse, où se loge le pivot de la machine quand on les tourne ; on ne coupe ce faux bouton qu'après leur réception.

Avant de mettre le grain de lumière, on visite intérieurement le logement préparé pour le recevoir, afin d'apprécier la densité du métal ; on s'assure ensuite que l'ouverture ou la partie taraudée est percée à l'endroit fixé, de manière à amener le canal de lumière au point déterminé par les tables.

Le grain doit être tourné extérieurement, et percé bien exactement dans son centre ; ses filets doivent être coupés vifs, et il en doit être de même pour la partie taraudée de la pièce, afin que les filets de la vis et de l'écrou se joignent parfaitement.

La vis doit entrer aisément dans l'écrou, jusqu'à ce qu'elle soit à quatre tours du fond.

Enfin, il faut forcer dans le logement le bouton du teton.

L'ame des canons et des obusiers long de 15 centimètres est forée à $0^{m},0018$ en dessous du calibre réel ; l'ame et la chambre des obusiers de 20 centimètres et des mortiers sont forées à leur véritable calibre.

Les canons et les obusiers sont placés sur deux chantiers et inclinés de manière que la bouche se trouve à environ un mètre de terre.

On vérifie.

1° S'ils sont forés au calibre fixé ci-dessus, en employant l'étoile mobile pour les canons et les obusiers longs de 15 centimètres ; cette opération se fait, pour les obusiers de 20 centimètres et les mortiers, au moyen des croix en acier ou des jauges.

Le calibre des canons peut avoir 0,0005, celui des obusiers

0,0005, et celui des mortiers 0,0011 en moins, sans qu'il soit nécessaire de les remettre au banc de forerie.

2° On viste les surfaces extérieure et intérieure, pour reconnaître s'il s'y trouve des soufflures, on tient note de celles qui sont observées.

Pour les canons et les obusiers, la visite intérieure se fait avec le miroir et au soleil, ou, si le temps est couvert, avec une bougie allumée. On détermine la largeur et la profondeur des soufflures avec le crochet en fer recouvert de cire.

Dans les canons et les obusiers longs de 15 centimètres, on ne tolère, depuis le fond de l'âme jusqu'à la hauteur des tourillons, d'autres chambres ou soufflures que celles qui disparaissaient par un forage de 0,0018. Sans en tolérer aucune dans la chambre des obusiers, on tolère dans la partie de l'ame en avant des tourillons, les soufflures ayant 0,0042 de profondeur; mais après l'alésage, lorsque ces bouches à feu ont été amenées à leur véritable calibre, les chambres ne peuvent avoir plus de 0,0033 de profondeur.

Pour les autres obusiers, on tolère des soufflures de 0,0038 de profondeur dans l'ame, et de 0,0027 dans la chambre. Les tolérances pour les mortiers sont de 0,0055 dans l'ame et 0,004 dans la chambre.

Toutefois, si ces chambres ou soufflures provenaient d'un défaut dans l'alliage, les bouches à feu seraient rebutées.

On tolère les ondes, rayures et coups de foret, qui doivent disparaître lorsque la pièce est mise à son véritable calibre.

L'arête ou la partie supérieure de l'orifice des chambres cylindriques doit être vive et exempte d'égrènements.

On tolère, à l'extérieur des bouches à feu, les chambres et soufflures de 0,0076 de profondeur, néanmoins si les chambres se prolongent dans des directions obliques, ou qu'elles proviennent d'un défaut d'alliage de métal, ces bouches à feu sont rebutées. Lorsque l'on découvre des chambres ou soufflures de plus de 0,0076 de profondeur, si l'on a la conviction qu'elles proviennent, non d'un défaut de fabrication, mais d'une cause accidentelle, et qu'elles ne peuvent être nuisibles ou dangereuses pour le service, on en fait mention dans le procès-verbal de visite, le directeur y ajoute ses observations et demande l'autorisation de recevoir la bouche à feu.

3° On vérifie, avec un fil d'acier à crochet perpendiculaire au

fil, s'il y a des chambres dans le canal de lumière, si l'on y découvre la moindre soufflure, on remet un nouveau grain.

4° On examine s'il n'existe pas de taches d'étain ou de cuivre, tant dans l'ame qu'à la surface des bouches à feu. Cette visite se fait au soleil, avec le miroir, ou si le temps est couvert, avec une bougie allumée.

S'il existe des taches et qu'elles proviennent d'un défaut d'homogénéité du métal, les pièces sont rebutées.

5° On vérifie si l'axe des tourillons est dans une même ligne droite perpendiculaire au plan vertical passant par l'axe de la pièce, quand les tourillons sont placés horizontalement; si la rainure de la visière et la sommité du bouton de mire se trouvent dans le même plan vertical; on se sert, pour cette visite, de la double équerre de fer, de deux croix avec les cylindres, d'un niveau, d'un fil et d'un compas; on ne passe aucune variation.

6° On s'assure, au moyen des instruments indiqués au n° 5, si l'axe des tourillons est à la distance voulue de l'ame de la pièce; on n'accorde aucune variation.

7° On s'assure si les tourillons sont bien dressés, dessus et derrière; on ne passe rien. On vérifie s'ils sont cylindriques et s'ils ont le diamètre prescrit. Cette vérification se fait avec deux lunettes, l'une du calibre exact et l'autre de 0,0005 au-dessous. Cette dernière ne doit pas entrer.

8° On vérifie la distance du devant des tourillons, à l'extrémité de la plate bande de culasse, sur deux points symétriquement placés à droite et à gauche du plan vertical du tir; on ne passe rien. Pour les pièces de même calibre, on admet 0,0065 de variation d'une pièce à l'autre.

9° On mesure la longueur des tourillons en dessus; on passe 0,0011 en moins et 0,0011 en plus sur cette longueur.

10° On vérifie, au moyen d'une double équerre de fer, si les embases sont bien dressées, si l'angle, qu'elles forment avec les tourillons, est bien net, et si elles ont l'écartement prescrit, tant en dessus qu'en dessous; on passe 0,0005 en plus ou en moins.

11° On vérifie la tulipe, les moulures, le cul de lampe, le bouton, l'emplacement et les dimensions des anses, avec des échantillons profilés sur le dessin de la pièce.

12° On mesure le diamètre du canal de lumière avec deux sondes, l'une de réception, l'autre de rebut; elles diffèrent entre elles de 0,00025.

15° On vérifie ensuite, en tenant compte des tolérances portées au tableau ci-annexé, si les dimensions fixées dans les tables sont bien observées.

On vérifie de même les principales dimensions extérieures et intérieures des obusiers et des mortiers. On s'assure en outre que les axes de l'ame et de la chambre coïncident, et que leurs parois se raccordent parfaitement.

On vérifie les chambres avec deux échantillons, l'un de réception, l'autre de rebut, dont les diamètres diffèrent entre eux de 0,0005.

On vérifie l'ame avec une croix à nonius donnant les calibres, avant et après l'épreuve, avec les tolérances fixées pour cette visite.

On mesure la profondeur totale avec un instrument qui donne les tolérances dessus et en dessous.

Dans les mortiers à tronc conique, on vérifie le raccordement de la partie cylindrique avec le tronc conique, au moyen d'un échantillon remplissant la partie sphérique, entre la chambre et l'ame.

Les bouches à feu reçues à la première visite sont transportées au champ d'épreuve. La poudre destinée aux épreuves doit être d'une bonne qualité ; on en constatera la portée par trois coups d'éprouvette, dont la moyenne sera relatée au procès-verbal d'épreuve.

Les projectiles employés pour les épreuves seront sphériques, sans couture, ni éraflure et du calibre exact.

Les projectiles creux seront mis tous au même poids, avec du sable, et l'œil en sera bouché avec un bouchon de bois coupé à ras de la surface.

Les canons, les obusiers et les mortiers seront montés sur des affûts de leur calibre et placés sur des plates formes.

Les canons seront éprouvés par cinq coups tirés sous l'angle de cinq degrés ; les canons de siège et de place avec une charge de la moitié du poids du boulet, ceux de campagne de 12 avec une charge de 2^{k}080 de poudre; ceux de 6 avec une charge de 1^{k}040.

Les obusiers de 15 et ceux de 20 centimètres seront éprouvés par cinq coups, tirés sous l'angle de dix degrés, les premiers à un kilog. de poudre, les autres à chambre pleine et avec un obus.

Les boulets et les obus seront ensabotés.

Les mortiers de 29 centimètres seront éprouvés par quatre

coups tirés à chambre pleine, savoir : deux coups sous l'angle de 30° et deux coups sous l'angle de 60°.

Les mortiers de 20 centimètres seront éprouvés par quatre coups à chambre pleine, tirés sous l'angle de 45°.

La charge des premiers sera couverte par un disque de carton. Dans les mortiers à chambres cylindriques, la bombe devra, autant que possible, correspondre au milieu de la chambre et sera fixée au moyen de quatre éclisses.

Si, après les coups d'épreuve, une bouche à feu recèle quelque défaut qui puisse en faire suspecter la bonté, on tirera encore deux ou trois coups avec la charge ordinaire ; on aura soin de relater l'effet de ces coups et la cause qui a donné lieu à les tirer.

Après les coups d'épreuve, les canons seront lavés intérieurement et ramenés à la fonderie, pour y subir l'épreuve de l'eau.

On bouchera la lumière avec une cheville de bois graissée et on les fera élever à la volée ; on remplira l'ame d'eau, que l'on pressera, avec un écouvillon garni d'un sac à terre graissé ; l'on examinera ensuite l'extérieur, surtout aux environs des anses et de la masse de lumière, ou du grain, pour s'assurer s'il n'y a pas d'infiltration. On laissera séjourner l'eau dans la pièce au moins huit heures ; on bouchera l'orifice pour empêcher l'évaporation de l'eau, sans toutefois trop la presser, de crainte d'arrêter l'infiltration. Si l'eau s'écoule, autour de la masse de lumière, ou du grain, on en mettra un autre, et le canon subira une nouvelle épreuve. Si le canon fait eau dans quelque autre endroit de la surface, il sera rebuté.

Les vieux canons auxquels on aura mis un nouveau grain seront éprouvés par trois coups, avec une charge d'un tiers du poids du boulet.

Après l'épreuve à l'eau, on examinera de nouveau la surface intérieure de l'ame et de la chambre de la pièce : si les soufflures, chambres, cendrures, se sont agrandies ou si l'on en découvre de nouvelles, on n'admettra que celles qui ne dépasseront pas les tolérances.

On s'assurera que les tourillons n'ont pas été faussés à l'épreuve du tir.

Après ces différentes épreuves, les bouches à feu seront montées de nouveau sur le tour, pour y être mises au calibre exact, et modifiées dans leurs dimensions, s'il y a lieu, d'après les données fournies par la première visite ; on les vérifiera au moyen de

l'étoile mobile, et l'on s'assurera de la concentricité du forage. On n'accordera aucune tolérance.

On examinera de nouveau ; on ne tolérera au logement de la charge, ou à celui du boulet, ni battement, ni chambres , ni coups de forets du fond de l'ame au devant des tourillons ; on ne tolérera dans la volée que les chambres qu'on y avait d'abord reconnues, pourvu toutefois qu'elles soient diminuées et non augmentées.

Le calibre des bouches à feu sera exact ; on tolérera 0,0005 en dessus du véritable calibre.

Tableau des dimensions des bouches à feu soumises à la visite, avec indication des instruments vérificateurs et des tolérances accordées.

DIMENSIONS A CONSTATER.		MANIÈRE DONT LA VISITE A LIEU.	TOLÉRANCES ACCORDÉES EN PLUS ET EN MOINS.
Longueurs intérieures et extérieures	Canons et obusiers longs de 0,15	avec une lame de fer profilée sur le dessus de la pièce.	0,0065
	Obusiers et mortiers		0,0044
Longueur de la chambre	Mortiers de 29 cents.		
	Obusiers et mortiers de 20 centimètres		0,0011
Longueur depuis l'extrémité de la plate-bande de culasse jusqu'au plus grand renflement du bourrelet des canons			Doit avoir, autant que possible, les dimensions fixées.
Longueur des principales parties aux	canons et obusiers longs de 0,15		0,0044 sur la long^r. d'une des parties princ.
	obusiers de 0,20 et mortiers		0,0022 sur la long^r. des 2 principales parties. Les variations sur les trois parties principales prises ensemble ne peuvent dépasser les tolérances accordées sur la longueur totale.
Distances du devant des tourillons à la plate bande de culasse	canons	avec une règle de fer portant un anneau à une extrémité	0,0065 } Il faut que ces variations soient communes aux deux tourillons.
	obusiers		0,0022
id.	obusiers longs de 0,15.	avec une doub. éq^re. de fer	0,0065
id.	jusqu'à la tranche des mortiers.		0,0011
Diamètre des tourillons dans toutes les bouches à feu		avec lunettes	0,0005 en moins
Longueur des tourillons		avec cylindre creux	0,0011
Ecartement des embases		avec une double équerre de fer	0,0005
Diamètre extérieur	De la plate-bande de culasse et des plus grands renflements du bourrelet des canons et obusiers longs de 15 centimèt.	avec une règle en fer profilée	0,0005 pourvu que les variations soient uniformes
	A la lumière, à l'extrémité du premier renfort, derrière la plate bande, à la naissance du renfort, derrière la plate bande, à la naissance de la volée, à l'astragale, contre le listel, à la tr. de la bouche, au plus fort du bouton, et au listel de la culasse, au collet du bouton.		0,0011
	des moulures aux canons et obusiers.	avec un fil	Indéterminée, pour qu'elles restent au-dessous de la ligne de mire.
Distances qui déterminent la position du canal de lumière	Extérieurement	avec une règle d'ame de calibre dont le bout est couvert de terre argileuse ou de cire et d'un dégorgeoir.	0,0022
	Intérieurement		0,0035

Épreuves des nouvelles bouches à feu en bronze, depuis l'adoption du règlement.

Canon obusier de 24 (0^m,15 de calibre) en bronze : 3 coups à 1,00 kilog. de poudre et 1 obus ensaboté et 2 coups à 2 kilog. de poudre et 1 boulet ensaboté.

Canon obusier de 12 (0^m,1199) en bronze : 3 coups à 0,75 kil. de poudre et 1 obus ensaboté, et 2 coups à 1 kilog. de poudre et 1 boulet ensaboté.

ARTICLE V.

RÈGLEMENT SUR LA VISITE, L'ÉPREUVE ET LA RÉCEPTION DES BOUCHES A FEU, EN FER, POUR L'ARTILLERIE DE PLACE ET DE LA MARINE.

Les bouches à feu, avant d'être éprouvées, seront visitées par les officiers d'artillerie employés à la fonderie, en présence du contrôleur, qui tiendra, pour y avoir recours au besoin, un registre de signalement, de visite et d'épreuve, dans lequel seront consignés les défauts remarqués aux bouches à feu. A chaque inscription, ce registre sera signé par les officiers et le contrôleur.

Les canons à visiter sont placés sur des chantiers, et inclinés de façon que la bouche se trouve à environ 1 mètre de terre.

On commence par les calibrer avec l'étoile à pointes mobiles, qui sert en même temps à faire reconnaître les enfoncements des forets, s'il en existe; si, d'après les tolérances accordées, le canon n'est pas de recette, on ne pousse pas plus loin la vérification et la pièce est rebutée immédiatement.

Si l'étoile mobile n'entre pas, on se servira de la croix de fer qui a 0,00057 de moins que le calibre.

Si l'ame est plus petite, le canon est remis sur le banc de forerie.

Si le canon est trouvé du calibre prescrit, on en examine l'ame avec le miroir, et au soleil, afin de mieux reconnaître les défectuosités qu'elle peut recéler.

Si le temps ne permet pas de faire cet examen au soleil, on se servira d'une bougie allumée; toutefois on n'emploiera ce moyen qu'autant que les circonstances l'exigent, attendu qu'il est insuffisant, surtout pour la visite des canons de petit calibre.

On introduira ensuite le chat, pour découvrir les chambres qui auraient échappé à l'œil. On le poussera jusqu'au fond de l'ame, et on le retirera lentement. Si une des pointes s'accroche, on marquera avec la craie, sur la tranche de la bouche, le côté où elle s'arrêtera. On marquera également la hampe du chat et la surface du canon, pour connaître la distance de la bouche à la chambre, et déterminer la position de cette dernière.

Pour connaître la profondeur de la chambre, on la sondera avec le crochet à hampe, dont la pointe sera recouverte de cire. Pour retrouver les chambres que le chat aurait fait découvrir, on reportera sur le manche du crochet la marque de la hampe du chat ; en dirigeant la pointe du crochet du côté de la marque de la tranche, on la poussera dans la chambre, et l'empreinte qui se fera sur la cire en donnera la forme et les dimensions, que l'on consignera sur l'état de visite.

On passera ensuite à l'examen de la surface extérieure du canon, en le retournant dans tous les sens. Si l'on y découvre des chambres, on les sondera avec de grandes épingles, pour en connaître la profondeur et la direction ; il en sera fait mention dans l'état de visite.

Si l'on soupçonne l'existence de chambres mastiquées, on pourra les découvrir en humectant la pièce avec une éponge, la couleur du mastic étant toujours plus terne que celle du fer, et on les recherchera avec le burin.

On fait casser immédiatement un tourillon au canon qui est reconnu avoir des défauts masqués.

On n'aura point d'égard aux chambres qui se trouveront au bouton, au cul de lampe et au bourrelet, à moins qu'elles ne soient très-considérables et que, dans les deux dernières parties, elles ne pénètrent assez avant pour diminuer l'épaisseur de métal nécessaire sur ces points.

La longueur des canons se mesure avec la règle destinée à cet usage.

La longueur du renfort et celle de la volée se vérifient avec l'échantillon ou lame de fer dans laquelle ces parties du canon sont profilées.

La distance du devant des tourillons au trait qui marque le derrière de la plate-bande de culasse, sera prise avec la règle à anneau carré.

Les tourillons devant être perpendiculaires au plan vertical,

qui est censé passer par la lumière et couper l'ame en deux parties égales, on vérifie leur emplacement en disposant d'abord le canon, au moyen d'un petit niveau, de façon que la lumière se trouve dans ce plan. On pose ensuite sur les deux tourillons la double équerre en fer, au dessus de laquelle on pose le niveau, et celui-ci fait voir si les tourillons sont perpendiculaires au plan passant par la lumière et l'axe du canon.

Les talons saillants sur une des faces de cette double équerre, étant appliqués contre les deux tourillons en même temps, feront connaître s'ils sont dans le même alignement. On les calibrera avec une lunette de leur diamètre; ils doivent être égaux dans toute leur longueur, et avoir l'angle de leur réunion, avec l'embase à vive arête. On vérifie avec la lame profilée la position de leur arête supérieure, qui doit se trouver à la hauteur de l'axe du canon.

L'écartement extérieur des embases sera mesuré avec une règle semblable; leur coupe doit se trouver dans l'alignement d'un fil, présenté contre leur extrémité en avant des tourillons et dirigé à l'angle antérieur de la plate-bande de culasse, comme étant la partie la plus saillante de cette plate-bande (1).

On vérifie les principaux diamètres extérieurs des canons, qui sont :

A la plate-bande de culasse;

A la lumière;

A l'extrémité du renfort;

A la naissance de la volée;

Derrière et devant la plate-bande de volée et à la plate-bande de la bouche;

Au plus grand renflement du bourrelet;

Au bouton;

A son collet.

---

(1) Ce moyen de vérifier la coupe ou les tranches des embases ne peut pas être employé lorsque ces tranches sont parallèles, au lieu d'être convergentes. Pour s'assurer si elles sont effectivement parallèles, on peut faire usage d'une équerre dont les branches prolongées à angle droit, embrasseraient les faces des tourillons : par ce moyen on verrait si elles sont parallèles. En examinant avec une règle, le long des tourillons, si les tranches des embases sont parallèles aux faces des tourillons, on connaîtrait si les tranches sont parallèles entre elles.

Ils doivent avoir les dimensions déterminées par les tables; on les mesure avec un compas à verge, et on s'assure de leur exactitude au moyen de la règle en fer, sur laquelle les diamètres sont marqués par des crans.

Le cul de lampe et la réunion au collet du bouton seront vérifiés avec une lame de fer profilée.

On examinera si la lumière aboutit dans le canon à la distance fixée aux tables; on se servira à cet effet d'une règle d'ame en bois, sur laquelle est tracé l'angle que forme la lumière, et dont le bout sera recouvert de terre argileuse humectée. Au moyen d'un dégorgeoir que l'on introduira dans la lumière, on marquera sur la terre le point où elle sera dirigée. L'on pourra ensuite, en appliquant une petite règle contre le bout de la règle d'ame, prendre la distance qu'il y aura du fond de l'ame au trou que le dégorgeoir aura fait sur la terre.

On visitera l'intérieur de la lumière avec un crochet de fil d'acier; si l'on y découvre des chambres, les canons ne pourront être présentés à l'épreuve.

Le diamètre de la lumière est vérifié au moyen de sondes.

On s'assurera, au moyen d'un compas d'excentricité, si l'axe de l'ame coïncide avec celui de la surface extérieure.

On reconnaît et on mesure la courbure de l'ame, s'il en existe, avec l'instrument appelé curvimètre.

Si l'on trouve des loupes à la surface des canons moulés en sable, on les fera enlever à la tranche; s'il n'y a pas de cavité en dessous, elles ne seront pas un obstacle à la réception des pièces. Si l'on y découvre des chambres, on suivra à ce sujet ce qui est prescrit pour les chambres extérieures.

S'il s'est formé à l'extérieur d'une bouche à feu des espèces de champignons, dont les bords, quoique appliqués à la surface, semblent en être séparés, on les recherchera avec un burin; si le fond de la désunion est à plus de 0,0135 du dessus, la bouche à feu sera rebutée et ne sera pas présentée à l'épreuve. Il en sera de même de toutes celles où l'on aura reconnu d'autres défauts excédant les tolérances portées dans le tableau annexé au présent règlement.

Les canons seront éprouvés par deux coups tirés à la suite l'un de l'autre avec un boulet et une charge de poudre égale à la moitié du poids du boulet. Les charges seront placées dans des gargousses en papier.

Les mortiers à boulets et les pierriers en fonte sont éprouvés par deux coups tirés à chambre pleine : les mortiers avec un nombre de boulets équivalant à 100 k^{os}; les pierriers, avec des pierres ou cailloux formant un poids de 50 k^{os}.

Les canons à bombe de 10 pouces sont éprouvés par une charge de deux coups à 6 k^{os} de poudre, avec une bombe ensabotée pesant 58 k^{os}; ceux de 8 pouces par deux coups à 4 k$_{os}$ de poudre, avec une bombe ensabotée pesant 30 k^{os}.

Les caronades sont éprouvées par deux coups tirés, à chambre pleine, avec un boulet et 2 valets.

Quand il s'agit d'introduire l'usage d'une nouvelle bouche à feu, on doit s'assurer qu'on lui a donné les dimensions convenables pour qu'on puisse s'en servir sans danger. A cet effet, on la soumet à des épreuves extraordinaires, qui exigent de la fonte et de la bouche à feu une résistance incomparablement plus forte que celle reconnue nécessaire pour soutenir les efforts que la bouche à feu peut avoir à supporter dans le service.

Ces épreuves extraordinaires sont déterminées par l'Inspecteur Général de l'artillerie et approuvées par le Ministre de la Guerre.

Les projectiles seront calibrés par le contrôleur, en présence des officiers chargés d'assister aux épreuves.

Comme il est nécessaire de s'assurer de la résistance des tourillons, en même temps que de celle du canon, on place celui-ci sur un traîneau, dont le dessus des flasques sera entaillé pour loger les tourillons aux deux tiers; l'entretoise de derrière de ces traîneaux sera assez éloignée de ce logement pour que la culasse puisse être inclinée à volonté, sans cependant jamais être enterrée.

Les canons seront chargés en présence des officiers préposés à l'épreuve; la gargousse sera pressée avec le refouloir contre le fond de l'ame, et l'on s'assurera avec le dégorgeoir si elle y touche. Les deux valets mis, l'un sur la poudre et l'autre sur le boulet, seront refoulés par quatre coups chacun.

Les canons seront amorcés avec un bout de lance à feu, ou autre amorce lente, pour donner aux canoniers le temps de se retirer.

Après les deux coups d'épreuve les canons seront ramenés à la fonderie et placés sur un chantier.

On bouchera la lumière avec une cheville en bois enduite de suif; on rehaussera la volée et on l'entourera d'une cravate de

toile, afin que l'eau dont on doit remplir le canon ne se confonde pas, en coulant le long de la surface, avec les gouttes qui pourraient filtrer à travers le métal.

On se servira, pour introduire l'eau, d'un arrosoir à grand goulot.

On comprimera l'eau avec un écouvillon couvert de grosse toile, pour qu'il remplisse exactement l'ame.

On visitera en même temps l'extérieur de la pièce, pour s'assurer si l'eau ne transpire pas par quelque endroit; la moindre filtration est une cause de rebut.

Les canons éprouvés sont placés sur des chantiers, comme à la visite provisoire. Ils sont examinés de nouveau avec le miroir: on y passe le chat pour s'assurer que l'épreuve n'a pas fait paraître de nouvelles chambres; si l'on en découvre, la pièce est rebutée.

La dernière visite faite, les canons qui auront été reconnus n'avoir aucun des défauts qui doivent les faire rebuter, seront reçus et pesés en présence des officiers susdits.

Les bouches à feu étant entièrement achevées, pesées et gravées, après avoir été bien nettoyées, seront entièrement enduites à chaud d'une légère couche d'un mélange de neuf parties de suif et une partie d'huile; après cette opération, on appliquera, sur la surface extérieure, deux couches de peinture à l'huile. On bouchera ensuite les ouvertures, savoir : celle du canal de la lumière avec une cheville de bois suiffée, et celle de la bouche de la pièce avec un tampon tronc-conique en bois dur, dont les parties qui doivent se trouver en contact avec la surface de l'ame seront également suiffées.

Il sera dressé à chaque visite, épreuve et réception, un procès-verbal détaillé, des opérations prescrites par le présent règlement; une expédition en sera adressée au Ministre de la Guerre et à l'Inspecteur Général de l'artillerie. Ce procès-verbal sera ensuite transcrit dans un registre tenu par le contrôleur.

Tableau des tolérances accordées dans les dimensions des bouches à feu en fer.

CANONS.

Calibre	de plus que le diamètre prescrit		0,00110
	de moins id. id.		0,00060
Diamètres extérieurs	si les canons sont tournés		0,00345
	s'ils ne le sont pas	de plus que le diamètre prescrit	0,00565
		de moins	0,00450
Diamètre du bouton et de son collet	de plus		0,00450
	de moins		0,00450
Longueur particulière	sur l'ame	trop longue de	0,00450
		si elle est trop courte on l'approfondira	. . .
	de la tranche de la bouche au trait qui marque le derrière de la plate-bande de culasse de plus ou de moins		0,00450
	On passera 0,0025 en plus sur ces deux longueurs, si d'ailleurs le canon est recevable		. . .
	sur le bouton et son collet		0,00900
	sur le renfort	si les canons sont tournés	0,00450
		s'ils ne le sont pas	0,00670
	sur la volée du renfort à la bouche		0,00450
Emplacement et dimensions des tourillons	du devant des tourillons au trait qui marque le derrière de la plate-bande de culasse	d'après les dimensions prescrites	0,00230
		dans l'emplacement des tourillons du même canon	0,00172
	sur la position du dessus des tourillons		0,00345
	sur leur diamètre		0,00172
	sur leur longueur		0,00172
	sur l'alignement des tourillons	sur le derrière et sur le dessous, sur le devant et sur le dessus, soit contre l'embase, soit au bout des tourillons	0,00230
Embases : sur leur écartement extérieur et leur largeur			0,00345
Chambres dans l'intérieur	profondeur des chambres dans l'intérieur		. . .
	une suite de petites chambres, dont une sera de		. . .

Chambres sur l'extérieur	sur le renfort	dirigées vers l'ame	0,00507
		dans le sens parallèle à la surface .	0,00900
		une suite de petites chambres, dont une sera de	0,00450
	sur la volée	dirigées sur l'ame	0,00500
		dans le sens parallèle à la surface .	0,00900
		une suite de petites chambres, dont une sera de	0,00450
	sur le derrière et le dessous d'un tourillon de 24 et au-dessus, profondeur de		0,01130
	sur celui des autres calibres inférieurs à 24 .		0,00900
	On tolèrera 0,00230 de plus pour celles qui seront sur le devant et le dessus des tourillons . . .		
Chambres sur la tranche de la bouche	si elles sont dans la direction de l'ame et qu'elles aient 0,0180 de profondeur, le canon ne sera pas reçu, il sera également rebuté si les chambres ont 0,1350 et qu'elles soient dirigées vers l'ame		
Ondes de foret	le canon ne sera pas reçu si la partie rentrante de l'onde, y compris l'augmentation de calibre toléré, a plus de		0,00115
Lumière	sur le diamètre	de plus	0,00115
		de moins	0,00057
	sur la position de l'orifice intérieur		0,00230
	sur celle de l'orifice ext^r^.	en avant du point où il doit se trouver	0,00565
		en arrière id. id. id.	0,00345
	les canons ne seront pas reçus s'il y a des chambres dans l'intérieur de la lumière		

CAronades en fer.

Calibre	de plus que le diamètre prescrit		0,00110
	de moins		0,00060
Diamètre extérieur	de plus		0,00566
	de moins		0,00450
Diamètre du bouton et de son collet	de plus		0,00670
	de moins		0,00450
Longueur totale	sur l'ame	trop longue de	0,00450
		si elle est trop courte on l'approfondira . . .	
	de la tranche de la bouche au collet de bouton, mesure prise contre la culasse, de plus ou de moins, on passera 0,00230 sur ces deux longueurs, si d'ailleurs la pièce est recevable . . .		
Longueur sur le bouton et son collet			0,00900
id. sur le renfort			0,00670
id. sur la volée			0,00450

Longueur du centre du support au collet du bouton, mesure prise contre la culasse		0,00345
id.	du support en moins	0,00345
id.	s'il est plus long, on le réduira au burin	
Epaisseur du support autour du trou		0,00230
Direction du trou de support et du trou de vis de pointage		0,00115
Diamètre	du trou de brague	0,00230
	du trou de support	0,00115
	du trou de vis de pointage	0,00115
Ces tolérances sont en plus, lorsque les diamètres seront trop petits on les alésera		
Direction du trou de brague		0,00230
id.	des trous du support de platine	0,00115
Il n'y a aucune tolérance pour l'emplacement de ces trous du côté de leur entrée		
Largeur du support de platine		0,00115
id.	de l'anneau de brague	0,00230
Crapaudines	hauteur et épaisseur des branches	0,00230
	trous de support, comme aux caronades	
	trous de boutons, emplacement	0,00115
	diamètre	0,00057
Chambres dans l'intérieur	profondeur des chambres	
	une suite de petites chambres, dont une sera de	
Chambres sur l'extérieur	sur le renfort, dirigées vers l'ame	0,00507
	dans le sens parallèle à la surface	0,00900
	une suite de petites chambres, dont une sera de	0,00450
	sur la volée, dirigées vers l'ame	0,00565
	dans le sens parallèle à la surface	0,01015
	une suite de petites chambres, dont une de	0,00565
	sur le devant et le dessous du support, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur	0,00450
	sur le derrière	0,00507
	sur l'anneau de brague, à l'intérieur ou à l'extérieur	0,00450
	sur le bouton, à l'intérieur ou à l'extérieur	0,00507
	sur le côté du support et dans le sens parallèle à son axe	0,00565
	diamètre ou largeur de ces trous	0,00507
Chambre sur la tranche de la bouche	si elles sont dans la direction de l'ame et qu'elles aient 0,0135 de profondeur, ou si elles sont dirigées vers l'ame avec 0,0090 de profondeur la caronade ne sera pas reçue	
Ondes de foret	la caronade ne sera pas reçue si la partie rentrante de l'onde, y compris l'augmentation du calibre toléré, a plus de	0,00115

Exactitude de l'ame 0,000250
Courbure de l'ame, hauteur de la flèche 0,000250
Lumière comme aux canons . . . .

Epreuves ordinaires des nouvelles bouches à feu en fer, depuis l'adoption du règlement.

Canon obusier de 120 (0^{m},254 de calibre) 2 coups à 6 kilog. de poudre et un obus ensaboté.

Canon obusier de 60 (0^{m},2014 de calibre) 2 coups à 3 kilog. de poudre, 1 valet d'étoupe et 1 obus.

Canon obusier de 24 (0^{m},15 de calibre) 2 coups à 2 kilog. de poudre et un boulet entre deux valets ou bouchons en foin.

CHAPITRE VII.

PRINCIPAUX INSTRUMENTS POUR LA VISITE ET LA RÉCEPTION DU MORTIER ÉPROUVETTE ET DU GLOBE.

ARTICLE I.

DESCRIPTION DE L'ÉTOILE MOBILE A CRÉMAILLÈRE.

L'étoile mobile à crémaillère est l'instrument qui sert à mesurer les diamètres de l'ame du mortier éprouvette. Ces diamètres sont donnés par le plus grand écart que peuvent prendre dans l'ame les extrémités de deux tiges, mobiles en sens opposés suivant le diamètre de l'ame, dans des anneaux ou coulisses ménagées sur une *plaque de support*; chacune de ces tiges fait corps par une branche en retour avec une crémaillère engrenant avec un pignon denté fixé au milieu de la plaque de support. On a donné le nom de *crémaillère* à l'ensemble du système composé d'une tige et de sa crémaillère.

Une verge de fer, *la tringle*, perpendiculaire au milieu de la plaque de support, forme l'axe du pignon et sert à lui imprimer un mouvement de rotation. Le pignon en tournant fait marcher les crémaillères en sens opposés, celles-ci se rapprochent ou s'éloignent suivant le sens du mouvement du pignon.

Une *boîte*, fixée au milieu de la plaque de support, recouvre le pignon : elle est percée de deux ouvertures pour le passage des crémaillères.

Les extrémités des crémaillères sont garanties par des *pointes en acier.*

Un tube, la hampe, est assemblé avec la boîte perpendiculairement au milieu de la plaque de support et enveloppe la tringle.

La hampe fait arriver l'instrument en un lieu quelconque de l'ame du mortier, et laisse toute liberté à la tringle pour le jeu des crémaillères.

On a prise sur la tringle au moyen d'une poignée adaptée à son extrémité.

Il est important que l'instrument se trouve dans l'axe du mortier, lorsqu'il est introduit dans l'ame. On y parvient au moyen d'une lame d'acier, *le croisillon,* assemblée en croix avec la plaque de support.

Les branches opposées de cette croix sont égales deux à deux, et ont une longueur un peu moindre que le rayon de l'ame; il en résulte que le centre du pignon est toujours à peu près sur l'axe de la pièce.

On maintient la tringle suivant l'axe de l'ame au moyen d'un second appui sur la tranche de la bouche, *la croix à talons.* Cette croix est formée par quatre branches égales appliquées sur la tranche, et pourvue de saillies ou *talons,* appuyant contre la paroi de l'ame.

Une douille ajustée au centre de la croix, est pourvue d'une vis de pression. La douille est traversée par la hampe de l'instrument, qui est ainsi mobile suivant sa longueur. La vis de pression permet de fixer la croix à talons sur une partie quelconque de la hampe.

Il ne suffit pas de faire appuyer les extrémités des crémaillères contre la paroi de l'ame suivant un de ses diamètres, il faut encore pouvoir apprécier exactement la mesure de la distance entre ces extrémités. A cet effet, un limbe circulaire gradué, *l'échelle d'agrandissement*, est fixé à la hampe. Il est concentrique avec l'axe de l'instrument et dans un plan perpendiculaire.

Une aiguille portée par la tringle, parcourt les divisions de l'échelle d'agrandissement, pendant qu'on fait marcher les crémaillères en tournant le pignon à l'aide de la tringle. L'arc parcouru par l'extrémité de l'aiguille, est au chemin parcouru par chaque crémaillère, comme la longueur de l'aiguille est au rayon du pignon. Il en résulte que si l'aiguille vaut n fois le rayon du pignon, l'arc parcouru par son extrémité sera n fois aussi grand que le chemin parcouru par chaque crémaillère.

Les deux crémaillères marchant en même temps, leur distance augmente ou diminue du double de l'espace franchi par chacune d'elles, et l'augmentation ou la diminution de l'intervalle entre leurs extrémités, est à l'arc parcouru par la pointe de l'aiguille, comme le double du rayon du pignon est à la longueur de l'aiguille.

Les plus petits accroissements ou diminutions sont donc accusés par des intervalles très-visibles sur l'échelle d'agrandissement. Celle-ci est divisée de telle sorte que chaque division correspond à une augmentation ou diminution de 0mm1, dans le diamètre de l'ame.

Le zéro de l'échelle est au milieu du limbe et correspond au diamètre exact indiqué par les tables de construction pour l'ame du mortier.

Figures 9, 10 et 11, planche XXXIV, étoile mobile à crémaillère.

a a (fig. 10 et 11) Plaque de support des crémaillères.

b b b (fig. 11) Crémaillère munie de sa pointe en acier.

b' b' b' Crémaillère dégarnie de sa pointe.

d d, d' d' (fig. 10 et 11) Anneaux carrés assurant la direction des crémaillères.

c c (fig. 10) Boite entourant le pignon, et échancrée en deux places pour le passage des crémaillères.

e e (fig. 11) Pignon denté.

f f Croisillon fixé à la plaque de support.

g g (fig. 10) Tringle servant d'axe au pignon et traversant le support.

i Poignée de la tringle.

h h Hampe assemblée avec la boîte et servant d'étui à la tringle.

k k (fig. 9 et 10) Aiguille fixée à la tringle.

l l (fig. 9) Échelle d'agrandissement.

m m (fig. 9 et 10) Croix à talons, mobile sur la hampe.

n (fig. 10) Vis de pression servant à fixer la croix sur la hampe.

o o Talons des branches de la croix.

Quelle que soit la précision de l'instrument et les précautions de ceux qui s'en servent, l'aiguille peut ne pas toujours coïncider avec le zéro de l'échelle, bien que la distance entre les pointes des crémaillères soit égale au calibre réglementaire : il faut dans ce cas fixer le point de départ des augmentations ou diminutions de calibre.

On se sert à cet effet de la *règle à talons* (fig. 7) en acier, ayant à ses extrémités deux saillies ou *talons a a,* dont l'intervalle est ri-

goureusement égal au calibre tabulaire (0^m191). Cette règle est logée dans une semelle en bois *A A* (fig. 6) convenablement entaillée.

On dirige l'étoile mobile verticalement, et on fait entrer la plaque de support dans l'intervalle entre les talons de la règle. On agit ensuite sur la tringle pour faire marcher les crémaillères, jusqu'à ce que leurs pointes soient arrêtées par les talons de la règle, et on remarque la division de l'échelle qui doit servir de point de départ.

Usage de l'étoile mobile à crémaillère.

Le mortier est placé verticalement, la bouche en haut. On présente l'étoile mobile au-dessus de la pièce, en appliquant les branches de la croix à talons sur la tranche de la bouche, et fesant entrer les talons dans l'ame, de manière à maintenir l'étoile suivant l'axe du mortier.

On fait glisser la hampe à travers la croix, jusqu'à ce que les crémaillères arrivent à la hauteur de la section de l'ame dont on veut prendre le diamètre, et la hampe est fixée dans cette position par la vis de pression du tube ou douille de cette croix.

On agit ensuite sur la tringle pour amener les pointes des crémaillères contre la paroi de l'ame, et on juge de la différence en plus ou en moins entre le calibre réel et celui tabulaire, d'après la position de l'aiguille relativement au point de départ de l'échelle d'agrandissement.

ARTICLE II.

OCTOGONE A VIS DE REPÈRE POUR MESURER LES DIAMÈTRES DES GLOBES D'ÉPROUVETTE.

L'octogone à vis de repère (fig. 8, planche XXXIV) est un cadre octogonal qui sert à la mesure du diamètre du globe d'éprouvette avec l'aide de l'étoile mobile à crémaillère.

a Pointe fixe en acier.

b c Vis de repère traversant le côté de l'octogone opposé à la pointe *a*.

d Vis de pression assurant la position de la vis *b c*.

Les diamètres du globe qui doivent principalement être mesurés, sont dans le grand cercle perpendiculaire à l'axe de l'œil. On passe l'octogone sur le globe et on l'amène dans le plan de ce cercle. On serre suffisamment la vis de repère sur le globe pour

que celui-ci passe à frottement entre la pointe de la vis et la pointe fixe, et on agit sur la vis de pression *d*.

L'octogone est ensuite déposé sur un plateau horizontal en bois, entaillé pour le recevoir. L'étoile mobile à crémaillères est présentée verticalement dans l'octogone, et on fait arriver les pointes des crémaillères contre la pointe fixe et celle de la vis de repère. La position de l'aiguille relativement au zéro de l'échelle, indique la différence entre le diamètre du globe, et celui réglementaire de l'ame du mortier.

ARTICLE III.

LIMITES DE DURÉE DE L'ÉPROUVETTE ET DU GLOBE.

Le mortier est mis hors de service lorsque l'accroissement du diamètre de l'ame produit par le refoulement occasionné par le tir, est égal à 1 millimètre à la naissance du raccordement hémisphérique, ce qui correspond à un diamètre de 0,192 à 0,145 de la tranche de la bouche.

Il y a deux globes, un grand et un petit, dont les diamètres diffèrent de un demi-millimètre.

Le vent entre le petit globe et l'ame au calibre exact est de 1 $^1/_2$ millimètre. Lorsque, par suite de l'accroissement du calibre de l'ame et de la diminution que le globe éprouve dans ses dimensions par ses chutes sur le terrain, le vent dépasse deux millimètres, on emploie le grand globe. De cette manière le vent reste toujours entre les limites de 1 $^1/_2$ à 2 millimètres. Chaque mortier doit avoir ses deux globes au moins (ordinairement quatre, deux grands et deux petits) pour satisfaire dans tous les cas à ces conditions de service.

Une diminution de un demi-millimètre dans le diamètre du petit globe en détermine la mise au rebut.

Un grand globe, qui par suite du service serait ramené au même diamètre que le petit, serait également rebuté. En tous cas, on ne peut se servir d'un grand globe dont le vent avec l'éprouvette qu'il accompagne dépasse deux millimètres.

ARTICLE IV.

REMPLACEMENT DU GRAIN DE LUMIÈRE.

L'instruction de 1852 sur le matériel de l'artillerie belge contient ce qui suit :

Lorsque le canal laisse pénétrer la sonde de rebut de 5mm de diamètre, le grain de lumière de l'éprouvette doit être remplacé. La lumière des éprouvettes en fonte, récemment adoptées, est percée dans le pourtour de la chambre : mais ces éprouvettes recevront un grain lorsque l'agrandissement de la première lumière aura atteint la limite.

Le grain de l'éprouvette est en cuivre rouge corroyé et n'est point fileté : il se compose de 3 troncs de cône, dont les deux inférieurs forment le teton et dont le troisième opposé par la base au second, est reçu dans un manchon fileté en fer, à tête hexagonale. On visse ce manchon avec force dans le logement du grain à l'aide d'une clef.

CHAPITRE VIII.

RÈGLEMENT SUR LA VISITE ET LA RÉCEPTION DES MORTIERS ÉPROUVETTES EN FONTE, APPROUVÉ DÉFINITIVEMENT PAR DÉPÊCHE MINISTÉRIELLE DU 9 OCTOBRE 1852, 3e Don No 3882.

ARTICLE I.

Les éprouvettes en fonte et leurs globes seront vérifiés avant leur réception, par une commission d'officiers d'artillerie nommée par l'Inspecteur-Général de l'arme, laquelle en proposera l'admission, la correction ou le rebut définitif dans un rapport motivé.

ARTICLE II.

Les éprouvettes doivent satisfaire aux données du tableau suivant :

DÉSIGNATION DES PARTIES.	DIMENSION.	TOLÉRANCES EN PLUS	TOLÉRANCES EN MOINS	OBSERVATIONS
		mill.	mill.	
Diamètre de l'ame	191	0,1	0,1	
id. de la chambre.	50	0,1	»	
Longueur totale de l'ame depuis la tranche jusqu'au centre du fond de la chambre. .	304	0,2	0,2	
Longueur de la chambre prise suivant l'axe.	65	0,1	»	
Distance du centre de l'orifice intérieur de la lumière à la circonférence qui termine le fond de la chambre.	2,3	0,6	0,4	
Diamètre de la lumière	4,6	0,1	0,1	
id. de la volée	270	3,5	3,5	
Grand diamètre du pourtour de la chambre.	288	3,5	3,5	
Diamètre de la plate-bande du pourtour et du tore de la volée.	293	3,5	3,5	
Longueur de la languette raccordant le pourtour de la chambre avec la semelle. . .	36	3,5	3,5	
Largeur de la languette	100	3,5	3,5	
Longueur de la volée depuis la tranche jusqu'à la plate-bande du pourtour de la chambre	143,5	4,5	4,5	
Distance du pied du raccordement du pourtour de la chambre et de la semelle à l'arête postérieure de la semelle.	162	4,5	4,5	
Distance du pied de la languette à l'arête antérieure	102	4,5	4,5	
Longueur de la semelle	600	4,5	4,5	
Largeur id.	350	4,5	4,5	
Epaisseur id.	73	4,5	4,5	
Chanfrein id.	30	4,5	4,5	
Distance du centre des poignées aux extrémités des côtés de la semelle.	80	4,5	4,5	
Longueur totale de la poignée.	124	4,5	4,5	
Largeur id.	72	4,5	4,5	
Diamètre moyen du corps de la poignée.	18	3,5	3,5	

DÉSIGNATION DES PARTIES.	DIMENSION.	TOLÉRANCES.		OBSERVATIONS.
		EN PLUS	EN MOINS	
		mill.	mill.	
Largeur du tenon de la poignée	32	4,5	4,5	
Epaisseur du tenon.	16	4,5	4,5	
Inclinaison de l'axe de l'ame par rapport à l'horizon le mortier étant placé sur une plate forme parfaitement horizontale. . .	45°	»	»	
Poids de l'éprouvette	198k	12k	12k	
Globes — Diamètre de l'équateur au grand cercle perpendiculaire à l'axe de révolution — P	189,5	0,1	0,1	
Globes — Diamètre de l'équateur au grand cercle perpendiculaire à l'axe de révolution . . . . — G	190	0,1	0,1	
Globes — Diamètre suivant l'axe de révolution — P . . .	189,5	0,1	0,1	
Globes — Diamètre suivant l'axe de révolution — G . . .	190	0,1	0,1	
Globes — Poids	29,3	0k002	0k002	

ARTICLE IV.

INSTRUMENTS DE VÉRIFICATION.

Les instruments de vérification sont :

1° L'étoile mobile à crémaillère qui a servi à la vérification de l'éprouvette en bronze.

2° La règle à talons servant à constater que l'aiguille de l'étoile mobile correspond à zéro, quand l'instrument mesure une ouverture de 191 millimètres.

3° Un cylindre de réception percé suivant son axe (diamètre 49mm,95) avec pointeau cylindrique, pour vérifier le diamètre de la chambre et marquer le centre du fond de la chambre (fig. 15, planche XXXIV).

4° Un cylindre de rebut (diamètre 50mm,1) servant à constater que le diamètre de la chambre n'est pas trop grand (même fig.).

5° Une équerre en *T* à coulisse et à nonius servant à mesurer les longueurs de l'ame et de la chambre (fig. 5); à cet effet, la branche du *T* est maintenue en coïncidence avec un diamètre tracé sur la tranche au moyen de deux saillies qui s'appuient contre les parois de l'ame, la tige se trouve alors disposée suivant l'axe au moyen d'un tasseau cylindrique du calibre de la chambre. Elle porte également un talon mobile et muni d'une vis de pression. Un rapporteur sert à s'assurer que la branche est perpendiculaire à la tige.

6° Un cylindre de réception (diamètre $4^{mm},5$) et un cylindre de rebut ($4^{mm},7$) pour la vérification de la lumière (fig. 3).

7° Une double équerre à coulisse et à nonius servant à vérifier les diamètres extérieurs.

8° Des gabarits représentant : l'un le profil de la section méridienne minimum du fond de l'ame, et les autres le profil des moulures du pourtour de la chambre et de son raccordement avec la semelle.

9° Une plate-forme en fonte de 800 mill. sur 500, dressée et pouvant être placée exactement de niveau au moyen de vis à caler.

10° Un cadran à niveau à bulle d'air et à nonius permettant d'apprécier des fractions de minute; à défaut de cet instrument, on se servira d'un bon quart de cercle en métal avec aiguille pendule.

11° Une règle triangulaire de profil, à angles aigus de 45°, de 300 mill. de longueur, pour servir de support au niveau lorsque l'on veut tracer une horizontale sur la tranche de la bouche.

12° Une règle en acier graduée (800 mill. de longueur, 30 de largeur et 5 d'épaisseur).

13° Un compas d'épaisseur avec pointes en acier (jambes de 300 mill. de longueur), une pointe à tracer.

14° L'octogone à vis de rappel et de pression qui servait à la vérification des globes en bronze.

15° Un vase en fonte avec la quantité de mercure nécessaire à l'équilibrage (le diamètre du vase doit être au moins de 300 mill. dans un sens, et 250 dans le sens perpendiculaire au premier : la profondeur ne doit pas dépasser 250 mill.).

ARTICLE V.

La Commission s'étant assurée du bon état de service et de l'exactitude de tous ces instruments, procédera à la vérification des éprouvettes dans l'ordre suivant :

1° Vérification du diamètre de l'ame et de la chambre ;

2° id. de la longueur de l'ame et de la chambre, et de la forme de l'agrandissement de l'ame;

3° id. de l'angle formé par l'axe avec la tranche;

4° id. de l'inclinaison de l'axe, le mortier étant placé sur une plate-forme parfaitement horizontale ;

5° Vérification de la position du plan vertical contenant l'axe relativement aux côtés de la plaque du mortier;
6° id. du diamètre, de la direction et de la position de la lumière;
7° id. des diamètres extérieurs;
8° id. de la longueur de la volée, de la forme du pourtour de la chambre, des moulures et de la languette;
9° id. des distances du pied du raccordement du pourtour de la chambre, et de la semelle aux arêtes antérieures et postérieures de ladite semelle;
10° id. du tracé du cran de mire;
11° id. des dimensions de la semelle;
12° id. de la position et des dimensions des poignées;
13° id. du poids de l'éprouvette;
14° id. des divers diamètres des globes;
15° id. du poids des globes;
16° id. de la concentricité de la masse et de la figure.

ARTICLE VI.

Relativement à ces diverses vérifications, la Commission observera les règles suivantes :

1° Le diamètre de l'ame doit être mesuré depuis la bouche jusqu'à la naissance de l'arrondissement hémisphérique de l'ame, de centimètre en centimètre, alternativement dans le sens vertical et dans le sens horizontal (1).

---

(1) Avant de se servir de l'étoile mobile, on s'assurera, à l'aide de la règle à talons, que l'aiguille de l'instrument correspond au zéro de l'échelle, lorsqu'on mesure une ouverture de 191 mill.; sinon on devra tenir compte de la différence. Il en est de même des autres instruments vérificateurs qui servent directement à la vérification des dimensions ou des angles. Pour vérifier le cadran, il faut le placer sur la plate-forme exactement nivelée au moyen du niveau à bulle d'air et de vis à caler. Dans cette position, le nonius du cadran doit indiquer 0°,0',0'', et sinon il faut tenir compte de la différence.

On contrôle les diamètres des cylindres de réception et de rebut au moyen d'une double équerre à coulisse et à nonius dont l'exactitude est connue, ou a été vérifiée au moyen des instruments qui se trouvent dans ce cas.

Pour vérifier l'exactitude de l'équerre en *T*, on se sert du rapporteur ad hoc, la pointe de la tige doit correspondre au cran du rapporteur, dans les deux positions qu'on peut donner à l'équerre.

Toutes les mesures obtenues doivent être individuellement comprises entre les limites fixées à l'article 3. Pour vérifier le diamètre de la chambre, on cherche à y introduire le cylindre de rebut (50^{mm},1) qui ne doit pas y entrer. Le cylindre de réception (49^{mm},95) au contraire, doit y entrer jusqu'au fond.

On introduit le pointeau cylindrique dans l'ouverture du cylindre de réception à ce destiné, et l'on marque le centre du fond de la chambre au moyen d'un léger coup frappé sur l'extrémité du pointeau.

2° On vérifie les longueurs de l'axe et de la chambre au moyen de l'équerre en *T*, dont on maintient la branche sur la tranche suivant un diamètre, on fixe d'abord la tige, lorsqu'avec la pointe elle aboutit au centre du fond de la chambre, et ensuite le talon que l'on a fait glisser à hauteur de l'arête d'intersection du fond de l'ame et de la chambre.

3° Pour examiner si la tranche est perpendiculaire à l'axe de l'ame, on se sert de deux diamètres perpendiculaires tracés sur la tranche après en avoir vérifié la construction. Si l'on ne trouvait pas ces diamètres tracés, il faudrait les construire (1); on place l'équerre en *T*, après avoir renversé la branche, les saillies en haut, suivant l'un de ces diamètres, et on avance la tige de façon que la pointe vienne aboutir au centre du fond de l'ame. La tige doit pouvoir être amenée dans cette position sans qu'aucune des deux branches de l'équerre ne se soulève. On fait la même vérification suivant l'autre diamètre de la tranche.

Pour vérifier l'exactitude du niveau à bulle d'air, on le place sur une règle puis on hausse l'un des bouts de la règle jusqu'à ce que l'instrument indique le niveau. Si l'instrument est exact, il doit encore indiquer le niveau lorsqu'on le retourne horizontalement en le plaçant dans la position inverse sur la règle.

(1) Dans les ateliers de la fonderie de canons, on fore d'abord le mortier éprouvette, puis on taille le plan inférieur de la plaque de manière qu'il soit incliné à 45° sur l'axe de l'ame. A cette fin, on trace sur la tranche deux diamètres perpendiculaires entre eux dont, l'un appartient au plan qui passe par l'axe et qui divise le mortier en deux parties symétriques. C'est d'après ces diamètres que l'ouvrier se dirige pour dresser la partie inférieure de la plaque, laquelle doit être parallèle au premier et inclinée sur le second de 45°.

Comme le résultat de la vérification 4° dépend de la position des deux diamètres de la tranche à l'égard du plan de la plaque, il faut d'abord vérifier la construction de ces deux diamètres, ou s'ils sont effacés les rétablir comme suit : Le mortier étant placé sur la plate-forme en fonte exactement horizontale,

4° Si le résultat de l'opération précédente est satisfaisant, on peut vérifier l'élévation de l'axe, le mortier étant placé sur la plate-forme parfaitement horizontale. A cette fin on place un des côtés du cadran suivant le diamètre vertical tracé sur la tranche, ou bien suivant la règle placée sur la tranche parallèlement à ce diamètre (le mortier étant toujours sur la plate-forme horizontale). Toute différence de l'angle observé à celui de 45° devant disparaître, on en tient note.

5° Comme l'axe de l'ame peut avoir l'élévation convenable sans que le plan vertical qui le contient divise la plaque du mortier en deux parties rectangulaires symétriques, on vérifie la position du plan vertical contenant l'axe à l'égard du rectangle que la plaque occupe sur la plate-forme. Toutefois, comme une position inexacte de ce plan ne présente d'autre inconvénient que de causer une déviation latérale du tir, lorsque l'on règle le pointage au moyen des longs côtés de la plaque, on ne rebutera pas les éprouvettes pour un semblable défaut : on se contentera d'annoter l'erreur. La vérification consiste à mesurer les distances d'un premier et même point du diamètre vertical aux deux angles antérieurs du rectangle qu'occupe la semelle sur la plate-forme, ou de deux points également distants de ces angles et situés sur une horizontale parallèle au plan de la tranche. On répète ensuite la même opération pour un second point, pris sur le diamètre vertical de la lumière relativement aux angles postérieurs de la semelle.

Les distances doivent être égales.

6° Le diamètre de la lumière doit être tel, que le petit cylindre puisse la traverser jusque dans la chambre et que le grand cylindre n'y entre pas.

La position et la direction de la lumière doivent être telles que le petit cylindre puisse arriver contre la paroi opposée de la cham-

---

on trace vers le milieu de la tranche une horizontale au moyen du niveau à bulle d'air et de la règle triangulaire qui lui servira de support. On marque sur cette horizontale deux points également distants de la circonférence d'intersection de l'ame et de la tranche, au moyen du compas et de ces points comme centre, on trace sur la tranche, tant au-dessus qu'au-dessous de l'horizontale obtenue, des arcs de cercle qui par leurs intersections déterminent deux points du diamètre appartenant au plan vertical passant par le centre de la tranche; la plan contient aussi l'axe de l'ame, lorsque la tranche est perpendiculaire à cet axe. Le diamètre horizontal se construit par la même méthode au moyen de diamètre vertical.

bre, dans cette position, la distance depuis la circonférence d'intersection du fond de l'ame et de la chambre, jusques contre le cylindre, mesurée suivant une génératrice rectiligne de la chambre, doit être comprise entre les limites extrêmes $58^{mm},1$ et $59^{mm},1$.

La différence entre les mesures obtenues suivant les deux génératrices opposées de la chambre correspondantes à l'axe du cylindre vérificateur, ne doit pas dépasser 1 mill. Enfin, lorsque le petit cylindre traverse ainsi la chambre, il doit rendre invisible le centre marqué au fond de la chambre, quelle que soit la position de l'œil de l'observateur placé à la bouche du mortier.

7° La vérification des diamètres extérieurs se fait au moyen de la double équerre à coulisse et à nonius.

8° Pour mesurer la longueur de la volée et les dimensions de la languette, on se sert de la règle et du compas.

Les moulures, le pourtour de la chambre et son raccordement avec la semelle, se vérifient au moyen de gabarits.

9° Les distances du pied du raccordement du corps du mortier et de la semelle, se mesurent suivant le plan méridien de la bouche à feu.

10° On vérifie le tracé du cran de mire, en mesurant à l'aide d'un compas, les distances d'un même point aux extrémités du diamètre horizontal de la tranche de la bouche.

11° Les dimensions de la semelle et des poignées ainsi que la position de ces dernières se vérifient au moyen de la règle et du compas, on s'assure ensuite à l'aide de l'équerre, que toutes les faces de la semelle sont dressées perpendiculairement l'une à l'autre.

12° Le poids de l'éprouvette se vérifie au moyen d'une balance à fléau, et à plateau ou à bascule.

13° Pour vérifier la sphéricité et le diamètre des globes, on commence par vérifier l'égalité entre l'axe de révolution et les diamètres perpendiculaires à cet axe, quelque bien que les globes soient tournés, on voit toujours lorsqu'ils sont neufs, les traces circulaires du burin. Le diamètre perpendiculaire à ces lignes est l'axe de révolution ; on lui donne la position verticale, puis on mesure, au moyen de l'octogone à vis de repère, les divers diamètres de l'équateur du grand cercle perpendiculaire à cet axe. L'octogone marque le diamètre lorsqu'on peut le faire passer à frottement sur le globe, tout en le maintenant horizontalement. Tous les diamètres de cette section doivent être égaux entre eux.

Ils doivent d'ailleurs être compris, quant à leur grandeur absolue, entre les limites posées à l'article 3.

Pour mesurer le diamètre à l'aide de l'étoile mobile, on place l'octogone sur le plateau en bois entaillé pour le recevoir, on mesure, à l'aide de l'étoile mobile qui a servi à la vérification de l'ame, la distance entre les deux pointes en acier qui ont passé à frottement sur le globe. On mesure ensuite de la même manière la longueur de l'axe de révolution, ou d'un diamètre très-rapproché de cet axe.

Si le globe n'est pas exactement sphérique c'est généralement ce dernier diamètre qui est le plus petit ou le plus grand. Dans aucun cas il ne devra sortir des limites fixées à l'article 3. On vérifie encore quelques diamètres obliques à l'axe; aucune des dimensions obtenues par cette dernière vérification ne doit atteindre ces limites.

14° Avant de peser les globes, on devisse les deux boulons, pour s'assurer qu'il ne s'y est pas infiltré du mercure le long des filets des bouchons, et qu'il n'y a pas de parcelle de plomb libre, le lest ne devant former qu'une seule masse. Cette masse ne doit d'ailleurs pas ballotter dans les globes, mais former corps avec eux. On remet ensuite les bouchons après les avoir fait enduire d'une couche de cire fondue, afin d'empêcher l'infiltration du mercure.

Ces préliminaires achevés, on détermine le poids des globes par la méthode des doubles pesées.

15° Enfin on vérifie la coïncidence du centre de figure et du centre de gravité. On admet que cette coïncidence existe, quand le globe reste sensiblement en équilibre sur un bain de mercure, quelle que soit la position qu'on lui donne en le faisant tourner sur lui-même.

ARTICLE VII.

Les mortiers qui n'auront pas satisfait à la vérification, seront partagés en deux classes, suivant que leurs défauts sont susceptibles d'être corrigés ou non.

Ceux de la première classe seront ajournés, les autres seront rebutés définitivement.

ARTICLE VIII.

Toutes les pièces du rapport doivent être dressées en triple expédition, dont deux seront envoyées à l'Inspecteur Général de l'artillerie et une restera déposée dans les archives de la fonderie de canons.

LE RAPPORT SE COMPOSERA :

1° D'un tableau renseignant les résultats détaillés de la vérification.

2° D'un procès-verbal de l'opération avec les conclusions de la commission.

Bruxelles le 7 novembre 1852.

Le Lieutenant Général, Inspecteur Général
de l'artillerie, Aide de Camp du Roi,
(Signé) De Liem.

NOTE I.

Sur le pendule balistique.

Le *tracé* et la *fonte* des canons sont deux branches distinctes de l'artillerie. Leur réunion concourt à la perfection de chacune d'elles. On exécute souvent dans les fonderies des expériences de tir, dont l'artillerie retirerait plus de profit, si ces expériences pouvaient être aidées des méthodes et des appareils balistiques qui leur manquent quelquefois.

Un pendule balistique serait donc un objet de la plus haute utilité dans une fonderie de canons. La possession d'un appareil électro-balistique, ne serait pas à nos yeux une raison pour se priver du premier de ces instruments ; car les résultats des expériences présentent souvent des anomalies; les véritables lois ne se manifestent pas toujours par un petit nombre de coups; et il est de principe de n'accepter un résultat ou une loi qu'après une contre-épreuve obtenue par une marche différente.

Nous ferons voir, dans une note subséquente, que le pendule balistique peut servir non-seulement à trouver la vitesse initiale des projectiles de l'artillerie, *mais encore à déterminer pratiquement les moments d'inertie des corps solides.* L'étude des canons rayés

étant une des questions dont l'artillerie s'occupe le plus activement en ce moment, la connaissance des moments d'inertie du projectile est une donnée indispensable de cette étude.

Nous croyons plus rationnel de déduire les formules du pendule balistique de celles du pendule composé. Nous suivons de cette manière la méthode indiquée par la mécanique analytique, et nous n'avons pas besoin d'une démonstration particulière basée sur la considération des forces vives et de la quantité de travail : c'est ce qui nous engage à présenter cette note.

ARTICLE I.

FORMULES ET PROPOSITIONS PRÉLIMINAIRES.

Avant de nous occuper du pendule balistique, nous croyons utile de rappeler quelques formules et propositions relatives au pendule simple et composé et aux moments d'inertie ; formules et propositions qui du reste sont démontrées dans les ouvrages de mécanique.

Vitesse angulaire produite par le choc d'un corps solide contre un pendule composé.

Soient :

m La masse du corps choquant.

v La vitesse du corps m au moment du choc : vitesse dont la direction est supposée dans un plan perpendiculaire à l'axe du pendule.

i La longueur de la perpendiculaire abaissée de l'axe du pendule sur la direction de la vitesse v à l'instant du choc.

$d\,m$ La masse élémentaire du pendule.

r La distance de la molécule $d\,m$ à l'axe de suspension.

ω La vitesse angulaire communiquée au pendule : ou la vitesse du point distant de l'unité de l'axe de rotation.

La quantité de mouvement du corps choquant est : $m\,v\,i$ (1)

La quantité de mouvement imprimé au pendule est :

$$\omega \int r^2\,dm \qquad (2)$$

La vitesse angulaire est :

$$\omega = \frac{m\,v\,i}{\int r^2 dm} \qquad (3)$$

L'intégrale $\int r^2 dm$ est le moment d'inertie de la masse du pendule, relativement à l'axe de suspension. Si le corps choquant m fait partie du pendule après le choc, l'intégrale doit s'étendre aux masses réunies du corps choquant et du corps choqué. Mais, si après le choc, le corps m est ramené à l'état de repos, ou si $m v$ mesure seulement l'intensité de l'impulsion communiquée au pendule, l'intégrale $\int r^2 dm$ s'étendra seulement à la masse du pendule composé.

La forme de l'équation (3) fait voir que, si le pendule n'est soumis à l'action d'aucune force accélératrice, la vitesse angulaire ω est constante, puisqu'elle est indépendante du temps.

Vitesse angulaire du pendule composé, soumis à l'action de la pesanteur, et oscillant autour d'un axe horizontal.

Soient :

M La masse du pendule composé.

$M x^2$ Le moment d'inertie du pendule relativement à une droite passant par son centre de gravité, et parallèle à l'axe de suspension.

d La distance du centre de gravité du pendule à l'axe de suspension.

α L'angle d'écart primitif du pendule, ou la quantité dont le pendule a été écarté de la verticale, et abandonné ensuite à lui-même, sans autre impulsion que celle de la pesanteur.

θ L'angle variable que fait avec la verticale la perpendiculaire abaissée du centre de gravité sur l'axe de suspension.

g La gravité terrestre.

φ La vitesse angulaire du pendule, correspondante à l'angle θ.

Nous avons entre ces quantités la relation :

$$\varphi = \sqrt{\frac{2dg}{x^2+d^2}\,(\cos\theta - \cos\alpha)}$$

Autre expression de la vitesse angulaire du pendule composé.

Soit encore :

l La longueur du pendule simple synchrône avec le pendule composé, ou la longueur du pendule simple qui fait les mêmes oscillations que le pendule composé :

On a :

$$l = \frac{x^2 + d^2}{d} \qquad (4)$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{2g}{l} \cos\theta - \cos\alpha} \qquad (5)$$

Expression de la vitesse angulaire du pendule composé au point le plus bas de sa course.

Si dans l'équation (5) nous supposons $\theta = 0$ d'où $\cos\theta = 1$, ce qui répond à la position la plus basse du pendule, lorsque son centre de gravité est revenu dans le plan vertical passant par l'axe de suspension, et si nous appelons φ' la valeur particulière que prend alors φ, nous aurons l'égalité :

$$\varphi' = \sqrt{\frac{2g}{l}(1 - \cos\alpha)} \qquad (6)$$

Quelques propositions relatives aux moments d'inertie.

Conservons les dénominations précédentes.

1° Le moment d'inertie du pendule composé relativement à l'axe de suspension est :

$$M\,(x^2 + d^2) \qquad (7)$$

2° De l'équation (4) on déduit : en multipliant ses deux membres par M et faisant disparaître le dénominateur d.

$$M\,(x^2 + d^2) = M\,l\,d \qquad (8)$$

Ce qui prouve que le moment d'inertie d'un pendule composé, relativement à son axe de suspension, est égal à la masse M de ce corps, multiplié par le produit de la longueur l du pendule simple synchrône et de la distance d du centre de gravité du pendule à l'axe de suspension.

3° Soient :

m, m', m'' etc. Les masses de plusieurs corps.

$m\,x^2$, $m'\,x'^2$, $m''\,x''^2$, etc. Les moments d'inertie de ces corps relativement à une même droite.

$M = m + m' + m'' + \ldots$ La masse réunie de tous ces corps.

$M X^2$ Le moment d'inertie de la masse M pris relativement au même axe que les moments partiels $m x^2$, $m' x'^2$ etc.

On a l'égalité :

$$M X^2 = m x^2 + m' x'^2 + m'' x''^2 + \cdots\cdots \qquad (9)$$

Ce qui signifie que :

Le moment d'inertie d'un assemblage de plusieurs corps est égal à la somme des moments d'inertie partiels de ces différents corps.

Proposition relative au centre de gravité.

Lorsque plusieurs corps ont leurs centres de gravité respectifs sur une même droite, la distance du centre de gravité du système, à un point quelconque pris sur cette droite, est égale à la somme des moments des masses, par rapport à ce point, divisée par la somme de toutes les masses.

Soient, par exemple :

M et m Les masses de deux corps dont les centres de gravité sont situés sur une même verticale.

d et i Les distances respectives, des centres de gravité de ces corps à un axe ou point fixe pris sur cette verticale.

z La distance du centre de gravité du système à cet axe ou point fixe.

On a la relation :

$$z = \frac{M d + m i}{M + m} \qquad (10)$$

ARTICLE II.

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LE PENDULE BALISTIQUE ET SUR LE CANON PENDULE.

Le pendule balistique est un pendule composé, servant à la recherche de la vitesse initiale des projectiles. Il y en a de deux sortes : 1° *le pendule proprement dit*, permettant de déterminer la vitesse du projectile, au moyen de la quantité de mouvement imprimée au pendule par le choc de ce projectile ; 2° *Le canon pendule* ou *fusil pendule*, servant à trouver la vitesse initiale du projectile, par la quantité de mouvement communiquée par le

recul dans le tir à l'arme suspendue à un axe horizontal et formant un pendule composé.

Le pendule balistique est formé d'un massif en bois ou en métal, suspendu par des verges de fer à un axe horizontal. Le massif, pour ne pas être détruit par le choc du boulet, contient une ame en bronze ou en fer, remplie d'une matière propre à amortir le choc, telle que du sable, de l'argile, etc.

Le pendule est muni d'une aiguille qui fait mouvoir un curseur sur un limbe circulaire gradué, concentrique à l'axe de suspension. Le curseur indique l'écart maximum que produit l'oscillation du pendule.

La partie inférieure du pendule est pourvue d'une ou plusieurs boules de fer, disposées d'une manière symétrique relativement au plan vertical, passant par le centre de gravité de l'appareil. Ces boules sont attachées au pendule à l'aide de verges filetées qui les traversent et permettent de varier leur distance à l'axe de suspension. Cette disposition a pour objet de pouvoir élever ou abaisser à volonté le centre d'oscillation du pendule, de manière à le faire coïncider avec l'axe de l'ame métallique qui doit recevoir le choc du boulet.

Le pendule balistique satisfait aux conditions suivantes :

1° Il possède, relativement au poids du projectile, une masse considérable, concentrée en majeure partie autour du massif destiné à recevoir le choc.

2° Le massif est suffisamment éloigné de l'axe de suspension.

3° La pendule est symétrique relativement au plan perpendiculaire à l'axe de suspension passant par le centre de gravité. Le point d'impact, partie du pendule atteinte par le boulet, doit se trouver dans le plan de symétrie et sur la ligne du centre d'oscillation.

4° La partie qui reçoit le choc, peut être promptement remplacée.

5° Le massif est solidement relié à l'axe de suspension.

6° Les couteaux de suspension oscillent sur leurs coussinets sans frottement sensible, et empêchent le glissement du pendule à droite et à gauche du plan du tir.

Examinons successivement ces différentes conditions :

Le pendule ayant une grande masse, concentrée autour du massif qui reçoit le choc, prend une faible vitesse, facilement mesurable.

Le massif, par son éloignement de l'axe de suspension, acquiert une vitesse angulaire d'autant plus petite, que cet éloignement est plus grand. Il en résulte que les écarts des oscillations sont limités.

La symétrie du pendule est cause que les chocs qu'il reçoit dans le plan de symétrie, se font sentir également sur les appuis; que le massif oppose la même force d'inertie à droite et à gauche de ce plan, et qu'il n'éprouve par conséquent aucune tendance à la torsion, ce qui est nécessaire pour la solidité de l'appareil. Enfin la coïncidence du point d'impact avec la ligne du centre d'oscillation, fait que la vitesse de la partie du pendule qui reçoit le choc, est précisément celle qu'elle conserverait dans le mouvement angulaire du pendule, même en supposant qu'elle en fût tout-à-coup détachée. Cette circonstance diminue les ébranlements produits par le tir.

La facilité de remplacer promptement la partie qui reçoit le choc, est favorable à la conservation du pendule, à la célérité des expériences et à la justesse des calculs, parce que les données ne changent plus d'un coup à l'autre. A cet effet le centre du massif contient une ame en bronze ou en métal. Le vide de l'ame est occupé par un tronc de cône en bois, creux et garni intérieurement d'une forte enveloppe en tôle, qui préserve l'ame des atteintes du projectile. Des tampons en sable ou en argile occupent le fond du tronc de cône et amortissent le choc graduellement. Après chaque coup on enlève les débris du tampon, et on le remplace par un autre tampon de même poids.

On relie le massif à l'arbre de suspension par des verges de fer, qui divergent en aboutissant aux extrémités de l'arbre. Ce mode d'attache en éloignant les appuis de ces verges, augmente le bras de levier de la résistance à la torsion, et a l'avantage de ne pas surcharger le haut du pendule.

Les couteaux de l'arbre de suspension, en acier fondu, sont supportés par des coussinets de même métal, ce qui rend les frottements négligeables.

Les couteaux encastrés dans les bouts de l'arbre, sont mobiles à volonté. Leur tranchant est un peu arrondi et forme une ligne légèrement concave.

Les coussinets sont maintenus dans des supports en fonte solidement reliés à une forte charpente ou à un massif en maçonnerie. Les coussinets reçoivent les couteaux dans une gorge qui s'évase

aux extrémités. La section de cette gorge par le plan de symétrie, qui est aussi le plan vertical passant par l'axe de suspension du pendule, forme une ligne un peu plus courbée que le tranchant du couteau, afin d'empêcher le pendule de glisser sur ses appuis et de garantir les coussinets des poussières qui pourraient s'y loger.

Plusieurs moyens se présentent, pour déterminer pratiquement la distance du centre de gravité de pendule à l'axe de suspension. Nous en citerons deux.

1° Le pendule étant suspendu sur ses couteaux, on l'écarte de la verticale d'un certain angle θ, à l'aide d'une corde qui passe sur une poulie de renvoi, et soutient un contre-poids Q à l'extrémité libre. On augmente successivement Q jusqu'à ce que la direction de la corde soit perpendiculaire au plan passant par l'axe de suspension et le centre de gravité. Soient :

P Le poids du pendule.

Q Le poids du contrepoids.

θ L'angle dont le pendule est écarté de la verticale.

d La distance cherchée du centre de gravité du pendule à l'axe de suspension.

x La distance du point d'attache de la corde à l'axe de suspension.

$P \sin \theta$ La composante du poids du pendule perpendiculaire au plan passant par l'axe de suspension et le centre de gravité.

On aura en négligeant le poids de la corde et le frottement sur la poulie et sur son axe.

$$P \sin \theta \, d = Q \, x \text{ d'où}$$

$$d = \frac{Q \, x}{P \sin \theta}$$

2° Le pendule est couché horizontalement et mis en équilibre sur des couteaux parallèles à l'axe de suspension. La distance horizontale de ces couteaux à l'axe de suspension est égale à la distance cherchée du centre de gravité.

On détermine la longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique, en imprimant à celui-ci un petit écart et comptant le nombre d'oscillations qu'il fait dans un temps donné; soient par exemple :

N Le nombre d'oscillations que fait le pendule dans une minute.

x La longueur du pendule simple à secondes.

i La longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique.

On a l'égalité :

$$N^2 : \overline{60}^2 = x : i \text{ d'où}$$

$$i = \frac{3600\, x}{N^2}$$

Connaissant *x* et *N*, cette équation fait connaître *i*, ou la distance du centre d'inertie à l'axe de suspension. Nous avons dit qu'il fallait faire coïncider cette distance avec l'axe de l'ame métallique qui doit recevoir le choc du projectile. Le résultat du calcul fait voir si *i* est plus grand ou plus petit que la distance de l'axe de l'ame métallique à l'axe de suspension.

Dans le 1er cas on remonte les boules de fer suspendues au pendule, en les fesant tourner autour des vis qui les traversent, afin de relever l'axe d'inertie. On les fait descendre dans le second cas.

On supplée quelquefois à l'effet des boules par des lingots de plomb ou d'autre métal, que l'on fixe à certaines places du pendule, ou que l'on enlève suivant les circonstances.

Ceci étant fait, on détermine la nouvelle longueur du pendule simple synchrône; on s'assure de nouveau que cette longueur est égale à la distance de l'axe de l'ame métallique à l'axe de suspension, et on recommence une suite d'opérations jusqu'à ce qu'on obtienne une coïncidence parfaite entre l'axe d'inertie et l'axe de l'ame métallique.

Après chaque coup il faut enlever le projectile, et remettre le pendule au même poids, en rechargeant l'ame métallique de matière propre à amortir le choc. On pourrait y laisser le projectile, mais il faudrait en tenir compte pour déterminer la position du centre d'inertie du système entier.

Il convient de fermer l'entrée de l'ame métallique par une feuille de zinc ou de plomb, ou par une planchette, etc., de manière à empêcher le sable ou l'argile de s'échapper, et à reconnaître facilement la position du point d'impact du projectile par la

trace circulaire très-nette, qui marque le passage du projectile au travers de ces enveloppes.

Ce qui vient d'être dit pour le pendule balistique s'applique également au *canon pendule*. Seulement la construction de ce dernier est simplifiée par l'emploi du canon lui-même, qui tient lieu de l'ame en métal.

Le centre d'inertie du *canon pendule* ne rencontre généralement pas l'axe de l'ame. On renonce à cette coïncidence à cause des masses énormes que devraient avoir les boules de fer, dont la manœuvre, autour des boulons filetés, doit déplacer l'axe d'inertie. Le recul du canon est moins destructeur que le choc du projectile. Mais il résulte de la non-intersection de l'axe de l'ame avec celui d'inertie, que les réactions sur les couteaux sont plus violentes ainsi que les mouvements de torsion.

ARTICLE III.

FORMULE GÉNÉRALE RELATIVE AU PENDULE BALISTIQUE ET AU CANON PENDULE.

Les expériences balistiques ont pour objet la détermination de la vitesse du projectile. Le pendule en vertu du choc qu'il reçoit ou de l'impulsion qui lui est imprimée, sort de l'état de repos, et commence à osciller avec une certaine vitesse angulaire initiale, qui s'épuise peu à peu par l'action de la pesanteur.

Parvenu à son écart maximum, il recommence son oscillation mais en sens contraire, et regagne successivement toutes les vitesses qu'il avait perdues. Lorsqu'il se retrouve dans sa position primitive au point le plus bas de sa course, il possède de nouveau la vitesse angulaire initiale qui lui avait été imprimée par le tir.

En adoptant les annotations de l'article (1), la formule (5) donne la vitesse angulaire initiale ω qu'un choc peut imprimer au pendule; cette vitesse angulaire doit d'ailleurs être la même que celle φ' (équation 6) indiquant la vitesse du pendule lorsqu'il est revenu dans le plan vertical passant par l'axe de suspension.

Egalant les valeurs de ω et de φ', on obtient l'équation :

$$\frac{m\,v\,i}{\int r^2\,dm} = \sqrt{\frac{2g}{l}(1 - \cos\alpha)} \quad (11)$$

Dans cette formule on représente par :

g La gravité terrestre.

l La longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique.

α L'angle d'écart maximum du pendule.

m La masse du boulet.

v La vitesse du boulet au moment du choc.

i La longueur de la perpendiculaire abaissée de l'axe de suspension sur la direction de la vitesse v.

$d\,m$ La masse élémentaire du pendule.

r La distance de l'élément $d\,m$ à l'axe de suspension.

Nous sommes donc arrivé à la formule du pendule balistique sans aucune considération de force vive ou de quantité de travail : il ne s'agit plus que de lui donner une forme qui permette d'utiliser les résultats des expériences.

Il importe dans l'application des formules d'éviter le calcul des lignes trigonométriques, qui exige le concours des logarithmes. A cet effet, nous exprimerons $1 - \cos \alpha$ en fonction de la corde de l'arc parcouru par le curseur.

Soient : (fig. 18, planche XXXI)

A La projection de l'axe de suspension.

$D\,C = C$ La corde de l'arc $D\,C$ mesurant l'angle α.

$A\,D = A\,C = R$ Le rayon de l'arc parcouru par le curseur.

$\alpha = D\,A\,C$ L'angle d'écart maximum du pendule.

On a les égalités :

$$A\,B = R \cos \alpha \qquad B\,C = R \sin \alpha$$

$$B\,D = A\,D - A\,B = R\,(1 - \cos \alpha) \qquad C^2 = \overline{D\,C}^2 = \overline{D\,B}^2 + \overline{B\,C}^2$$

$$C^2 = R^2\,(1 - \cos \alpha)^2 + R^2 \sin^2 \alpha \quad \text{d'où}$$

$$1 - \cos \alpha = \frac{C^2}{2\,R^2} \qquad (12)$$

Il vient par la substitution de cette dernière valeur dans l'équation (11)

$$\frac{m\,v\,i}{\int r^2\,d\,m} = \frac{C}{R}\sqrt{\frac{g}{l}} \qquad (13)$$

ARTICLE IV.

FORMULE DU PENDULE BALISTIQUE PROPREMENT DIT.

Le projectile frappe le pendule balistique suivant une direction perpendiculaire au plan vertical de suspension, et reste attaché à la masse du pendule après le choc.

L'intégrale $\int r^2\, d\, m$ (éq. 13) doit donc s'étendre aux masses réunies du pendule et du boulet.

A cet effet on peut considérer la masse du boulet comme concentrée en son centre de gravité et prendre $m\ i^2$ pour son moment d'inertie, ou le produit de sa masse m par le carré i de la distance de ce centre après le choc à l'axe de suspension. Les dimensions des projectiles étant toujours fort petites relativement à i, l'erreur commise en négligeant ces dimensions est sans influence sensible sur les résultats.

Soient :

d La distance du centre de gravité du pendule à l'axe de suspension.

$M\, x^2$ Le moment d'inertie du pendule relativement à un axe passant par le centre de gravité parallèlement à l'axe de suspension.

$M\ (x^2 + d^2)$ sera le moment d'inertie du pendule relativement à l'axe de suspension.

L'intégrale $\int r^2\, d\, m$ étant égale à la somme des moments d'inertie partiels du boulet et du pendule nous aurons l'égalité :

$$\int r^2\, d\, m = M\,(x^2 + d^2) + m\, i^2 \qquad (14)$$

Au moyen de cette valeur l'équation (13) devient :

$$\frac{m\, v\, i}{M\,(x^2 + d^2) + m\, i^2} = \frac{C}{R}\sqrt{\frac{g}{l}} \qquad (15)$$

Dans cette formule l représente la longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique augmenté de la masse m du boulet. Soit :

z La distance à l'axe de suspension du centre de gravité des masses réunies du boulet et du pendule.

Nous aurons en vertu de la formule (8)

$$M(x^2 + d^2) + m\,i^2 = (M + m)\,l\,z \quad \text{d'où}$$

$$l = \frac{M(x^2 + d^2) + m\,i^2}{(M + m)\,z} \qquad (16)$$

D'ailleurs la formule (10) donne :

$$z = \frac{M\,d + m\,i}{M + m}$$ d'où on obtient par l'élimination de z

$$l = \frac{M(x^2 + d^2) + m\,i^2}{M\,d + m\,i} \qquad (17)$$

Substituant cette valeur de l dans l'équation (15) et réduisant, on obtient :

$$v = \frac{C}{R\,m\,i}\sqrt{g\,\{M(x^2 + d^2) + m\,i^2\}\,\{M\,d + m\,i\}} \qquad (18)$$

Soit :

K La longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique seul, c'est-à-dire non compris le boulet.

On déduit de la formule (8) :

$$x^2 + d^2 = K\,d$$

Cette valeur introduite dans l'équation (18) donne :

$$v = \frac{C}{R\,m\,i}\sqrt{g\,\{M\,K\,d + m\,i^2\}\,\{M\,d + m\,i\}} \qquad (19)$$

Exprimons les masses M et m en fonction de leurs poids respectifs P et b l'équation précédente devient :

$$v = \frac{C}{R\,b\,i}\sqrt{g\,\{P\,d + b\,i\}\,\{P\,K\,d + b\,i^2\}} \qquad (20)$$

Récapitulons les valeurs des lettres qui entrent dans cette formule :

v Vitesse du boulet au moment du choc

C Corde de l'arc décrit par le curseur.

R Rayon de l'arc décrit par le curseur.

b Poids du boulet.

i Distance du point d'impact à l'axe de suspension.

g Gravité terrestre.

P Poids du pendule.

d Distance du centre de gravité du pendule à l'axe de suspension.

K Longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique.

Dans la pratique on fait généralement coïncider le centre d'oscillation avec le centre du projectile, ou avec l'axe de l'ame métallique dans laquelle le projectile vient s'enfoncer. Dans ce cas :

$$i = K$$

et la formule précédente devient :

$$v = \frac{C}{R\,b\,K}\sqrt{g\,K\,(P\,d + b\,K)^2}$$

$$v = \frac{C\,(P\,d + b\,K)}{R\,b}\sqrt{\frac{g}{K}} \qquad (21)$$

Telle est la formule généralement usitée dans les expériences balistiques.

ARTICLE V.

FORMULE DU CANON PENDULE.

Le canon pendule sert à déduire la vitesse initiale du projectile de la quantité de mouvement imprimée par le recul à l'arme suspendue à un axe horizontal et formant pendule. La quantité de mouvement imprimée au pendule est supposée la même que celle possédée par le projectile au moment où il sort de l'ame. On admet de plus que le mouvement du pendule ne commence qu'après la sortie du projectile. Ces suppositions sont évidemment erronées.

Les gaz agissent sur la pièce suivant toute la section de l'ame,

tandis que pour le projectile cette surface d'action est réduite à l'aire de son grand cercle. En d'autres termes une partie de l'impulsion communiquée par les gaz est perdue pour le projectile à cause du vent, tandis que la réaction s'opère sans perte de force sur la pièce.

Les gaz travaillent sur le fond de l'ame non-seulement en vertu de leur force expansive, mais aussi par le choc que produit le mouvement de leur masse.

Le projectile met dans la réalité un certain temps à traverser l'ame, et quoique sa vitesse soit considérable relativement à celle du recul, leur rapport n'est cependant pas infini.

Quoi qu'il en soit, il est important de connaître la réaction exercée sur la bouche à feu, et par suite la vitesse que prendrait le projectile s'il recevait la même impulsion que la pièce. La différence entre cette vitesse et celle dont le projectile est réellement animé, peut servir à donner une idée de la perte de force occasionnée par le vent.

D'après ce qui précède, l'intégrale $\int r^2\, d\, m$ (équation 13) doit seulement s'étendre à la masse du canon pendule.

Soit donc :

$$\int r^2\, d\, m = M\,(x^2 + d^2):$$

l'équation (13) devient

$$\frac{m\,v\,i}{M\,(x^2 + d^2)} = \frac{C}{R}\sqrt{\frac{g}{l}} \qquad (22)$$

Mais l étant la longueur du pendule simple synchrône avec le canon pendule, on a en vertu de l'équation (8) :

$$x^2 + d^2 = l\,d$$

Introduisant le second membre de cette formule dans l'équation (22) et réduisant il vient :

$$v = \frac{M}{m} \cdot \frac{C\,d}{R\,i}\sqrt{\frac{g}{l}}$$

Ou à cause de $\frac{M}{m} = \frac{P}{b}$

$$v = \frac{PCd}{bRi}\sqrt{gl}$$

Dans la formule du pendule balistique nous avons représenté par K la longueur du pendule simple synchrône, substituant donc K à l, pour conserver la même annotation, nous aurons :

$$v = \frac{PCd}{bRi}\sqrt{gK} \qquad (23)$$

Telle est la formule en usage dans les expériences avec le canon pendule.

NOTE II.

Application proposée par l'auteur, du pendule à axe de rotation horizontal à la détermination pratique des moments d'inertie des corps solides.

Préliminaires.

Les forces motrices se transmettent ou agissent presque toujours en produisant des mouvements circulaires. Nous en trouvons de nombreux exemples dans l'industrie, dans les mouvements des volants, des roues à engrenages ou à courroie, des tours, des martinets, etc. L'artillerie nous en fournit aussi un très remarquable dans la rotation des projectiles allongés, tirés avec des canons rayés.

Une chose importante dans la connaissance complète du mouvement de rotation, est la *détermination des moments d'inertie.* Mais les corps ont parfois une forme et une distribution de matière, dont l'expression analytique est compliquée ou même impossible ; de là de grandes difficultés dans le calcul des moments d'inertie. Nous allons indiquer un moyen d'éviter des intégrales souvent redoutables, *en déterminant pratiquement les moments d'inertie des corps solides.*

L'appareil dont nous nous servons est un pendule balistique, ou un pendule composé à axe de rotation horizontal, dont nous supposons que tous les éléments sont parfaitement connus.

Quant au corps solide proposé, nous admettons que la position de son centre de gravité est trouvée pratiquement ou par le calcul.

Il suffit de connaître les moments d'inertie relativement à des

droites passant par le centre de gravité du corps, pour en déduire par une formule très-simple, les moments d'inertie relatifs à d'autres droites parallèles aux premières. En effet, soient :

$m K^2$ Le moment d'inertie du corps relativement à une droite donnée.

d La distance de la droite donnée au centre de gravité du corps.

$m x^2$ Le moment d'inertie du corps par rapport à une droite passant par le centre de gravité, parallèlement à la droite donnée.

On a entre ces quantités la relation :

$$m K^2 = m (x^2 + d^2).$$

Deux corps géométriquement semblables, et ayant leurs masses semblablement réparties, ont des moments d'inertie proportionnels au produit des masses par les carrés des lignes homologues. Soient pour deux corps semblables de masses m et m'.

$m K^2$ Le moment d'inertie du corps m, relativement à une certaine droite.

$m' K'^2$ Le moment d'inertie du corps m', relativement à une droite homologue à la précédente.

x Une droite quelconque du corps m.

x' Une droite du corps m', homologue à la droite x.

Nous aurons la portion :

$$m K^2 : m' K'^2 = m x^2 : m' x'^2 \text{ et par suite :}$$

$$K^2 : K'^2 = x^2 : x'^2$$

Si donc les dimensions du corps proposé, étaient exagérées en grandeur ou en petitesse, ce qui rendrait l'expérience impraticable ou l'exposerait à de trop fortes erreurs, on remplacerait ce corps par un autre, géométriquement semblable, ayant une masse semblablement répartie et dont les dimensions seraient en rapport convenable avec celles du pendule. Le moment d'inertie de ce corps auxiliaire étant connu, on en déduirait le moment d'inertie du corps proposé, au moyen de la proportion du carré des lignes homologues.

Le moment d'inertie d'un système de corps, relativement à une droite quelconque, est égal à la somme des moments d'inertie partiels de ces mêmes corps par rapport à la droite donnée.

Soient :

$m, m', m'' \cdots$ Les masses d'un certain nombre de corps.

$M = m + m' + m'' + \cdots$ La masse de tous les corps réunis.

$m k^2, m' k'^2, m'' k''^2, \cdots$ Les moments d'inertie des corps m, m', $m'' \cdots$ relativement à une certaine droite.

$M K^2$ Le moment d'inertie de la masse totale M par rapport à la droite donnée.

On a entre ces qualités la relation :

$$M K^2 = m k^2 + m' k'^2 + m'' k''^2 + \cdots$$

De cette équation on déduit :

$$m k^2 = M K^2 - m' k'^2 - m'' k''^2 - \text{etc.}$$

Détermination pratique du moment d'inertie à l'aide d'un pendule à axe horizontal.

Moyen de solution.

Nous prenons successivement et expérimentalement le moment d'inertie, relativement à l'axe de suspension, du pendule balistique (ou composé) et du même pendule augmenté du corps proposé ; la différence entre ces deux moments est le moment d'inertie de ce corps par rapport à l'axe de suspension. Il est facile d'en déduire ensuite le moment d'inertie relativement à une droite passant par le centre de gravité du corps, parallèlement à l'axe de suspension ; ce qui résoud le problème.

Le corps doit être placé sur le pendule, de manière que la droite, relativement à laquelle on cherche le moment d'inertie, soit parallèle à l'axe de suspension, et que son centre de gravité, se trouve avec celui du pendule dans un même plan passant par l'axe de suspension.

Données de la question.

Nous représenterons par :

M La masse du pendule balistique.

L La longueur du pendule simple synchrône.

D La distance du centre de gravité du pendule balistique à l'axe de suspension.

(1) $M\ K^2$ Le moment d'inertie du pendule balistique relativement à une droite passant par son centre de gravité et parallèle à l'axe de suspension.

m La masse du corps dont on cherche le moment d'inertie.

d La distance à l'axe de suspension du centre de gravité du corps *m* placé sur le pendule de la manière indiquée.

(2) $(M + m)\ K'^2$. Le moment d'inertie du *pendule balistique* augmenté du corps *m*, pris relativement à une droite passant par le centre de gravité du système et parallèle à l'axe de suspension.

(3) $m x^2$ Le moment cherché d'inertie du corps *m* relativement à une droite passant par son centre de gravité et parallèle à l'axe de suspension.

D' La distance à l'axe de suspension du centre de gravité du système formé du pendule balistique et du corps *m*.

Expressions des moments d'inertie.

Nous avons en vertu des propriétés connues sur les moments d'inertie.

(4) $m\ (x^2 + d^2)$ Pour le moment d'inertie du corps *m* relativement à l'axe de suspension.

(5) $M\ (K^2 + D^2)$ Pour le moment d'inertie du pendule relativement à l'axe de suspension.

(6) $(M + m)\ (K'^2 + D'^2)$ Pour le moment d'inertie du pendule augmenté du corps *m*, relativement à l'axe de suspension.

Le moment d'inertie du système formé du pendule et du corps *m* étant égal à la somme des moments d'inertie partiels, l'expression (6) est égale à la somme des formules (4) et (5) d'où :

(7) $(M + m)(K'^2 + D'^2) = m\,(x^2 + d^2) + M\,(K^2 + D^2)$.

On pourrait de cette équation tirer la valeur de $m x^2$: mais pour en faire usage, il faut exprimer *D*, *K'* et *K* en fonction de quantités connues ou faciles à trouver expérimentalement : c'est ce dont nous allons nous occuper.

Expression de D' en fonction de quantités connues.

Les propriétés connues sur les centres de gravité conduisent à l'équation :

$$(M + m) D' = M D + m d \cdot \text{ d'où :}$$

$$(8) \qquad D' = \frac{M D + m d.}{M + m}.$$

Expression de K en fonction de quantités connues ou faciles à trouver expérimentalement.

Soit :

(9) L La longueur du pendule simple synchrône avec le pendule balistique : longueur qu'on peut trouver expérimentalement. On a en vertu d'une relation mentionnée dans une note précédente :

(10) $K^2 + D^2 = L D.$

Expression de K' en fonction de quantités connues ou faciles à trouver expérimentalement.

Soit :

(11) L' La longueur du pendule synchrône avec celui du système formé du pendule balistique et du corps proposé : longueur qu'on peut trouver expérimentalement :

On a en vertu de la relation citée précédemment :

$$K'^2 + D'^2 = L' D'.$$

Éliminant D' à l'aide de la formule (8) il vient :

$$(12) \qquad K'^2 + D'^2 = \frac{L' (M D + m d)}{M + m}.$$

Résolution de l'équation (7) *par rapport à* $m x^2$.

Introduisant dans l'équation (7) les valeurs (8) (10) et (12) il vient, toute réduction faite, pour la valeur de $m x^2$.

$$(13) \qquad m x^2 = L' (M D + m d) - M L D - m d^2.$$

Equation dans laquelle M, m et d sont les données du problème, et dans laquelle L et L' seront connues par expérience en fesant osciller successivement le pendule seul et le pendule chargé du corps m.

Autre solution plus simple mais approximative.

Nous transformons le corps proposé en un pendule composé, en le suspendant à un axe horizontal par quatre fils ou rubans, assez minces et légers pour que leur poids puisse être négligé relativement à celui du corps proposé. La vitesse du pendule devant toujours être faible, on n'a pas à craindre que les fils ou rubans fléchissent pendant les oscillations. En tout cas la flexion, si elle se reproduit, pourra être négligée. Supposons pour plus de simplicité que ce corps soit un solide de révolution, un projectile cylindro-ogival par exemple, et suspendons-le à un axe horizontal parallèlement à celui de symétrie du projectile. Le centre de gravité du corps est d'ailleurs sur son axe de révolution.

Soient :

M La masse du projectile.

d La distance de l'axe du projectile à l'axe de suspension.

l La longueur du pendule simple à secondes.

l' La longueur du pendule simple synchrône avec le *pendule composé*, formé du projectile suspendu à un axe horizontal.

N Le nombre d'oscillations par minute que fait le pendule composé.

Mx^2 Le moment d'inertie du pendule composé, ou du projectile relativement à son axe de symétrie.

$M(x^2 + d^2)$ Le moment d'inertie du pendule composé relativement à son axe de suspension.

g La gravité terrestre.

Nous aurons pour déterminer la longueur l' du pendule simple synchrône, avec le pendule composé :

$$\frac{1}{N^2} \cdot \frac{1}{(60)^2} = l' : l$$

$$\text{(14)} \qquad \text{d'où } l' = \frac{3600\, l}{N^2}$$

Nous savons que sous notre latitude on a :

$$l = 0^m,99384 \text{ d'où}$$

$$\text{(15)} \qquad l' = \frac{3600 \times 0.99384}{N^2}$$

Le nombre N étant donné par l'observation, on déduira la valeur de l' de la formule (14).

Appliquant l'équation (10) nous poserons l'égalité :

(16) $x^2 + d^2 = l' d$ d'où

(17) $x^2 = l' d - d^2$

Équation qui nous fera connaître x^2 et par suite $M x^2$, ce qui résoud le problème proposé.

NOTE III.

Expériences faites par l'auteur à Tournay en 1849 sur la résistance utile produite dans le forage et le sciage du bois.

(Planche XLIV.)

En terminant notre 2me partie nous avons mentionné le mémoire publié en 1850, dans le journal des armes spéciales de Corréard relatif à nos expériences sur la résistance utile produite dans le travail du bois. Plusieurs personnes nous ayant fait remarquer que partout il y avait tendance à réunir les divers établissements de construction de l'artillerie, et qu'il serait utile de rappeler dans notre ouvrage ces expériences qui sont les seules faites jusqu'à ce jour, nous en donnons le résumé suivant.

Nos expériences ont été faites avec un tour ordinaire à plate-forme (fig. 1 et 2 planche XLIV). Une poulie poire permettait de varier les vitesses et tenait lieu de roue motrice. Le bois à expérimenter était fixé sur la plate-forme à l'aide de boulons à écrous.

Le chariot de tour consistait en une pièce de bois (*AB* fig. 1 et 2) portée sur 4 roulettes et munie de rebords emboitant les directrices du banc (*C D*, *C' D'* fig. 2). Un pivot *E* (fig. 3 et 4) à la partie antérieure du chariot soutenait la tige de l'outil, et entrait à cet effet, avec un frottement négligeable, dans un logement cylindrique creusé sur l'extrémité de cette tige. La pression était donnée à l'aide d'un contrepoids *R* (fig. 1) attaché à un cordage passant sur une poulie de renvoi *F* et fixé au chariot du tour.

Les outils expérimentés ont consisté en :

1° Gouges de menuisier.

2° Mèches anglaises.

3° Scie cylindrique.

La tige des gouges et des mèches anglaises était assez longue pour faire l'office de barre de foret. Un levier horizontal ajusté perpendiculairement à cette tige, et divisé en mesure métrique, était chargé de contrepoids pour équilibrer l'effort produit dans le travail. Nous avons pris les précautions indiquées dans nos expériences sur le forage, relativement à la mesure des moments des contrepoids, à la division du levier dynamométrique, etc.

Le perfectionnement que nous avons apporté à ce levier, indiqué dans notre 2e partie, nous a dispensé de prendre les valeurs maxima et minima des contrepoids *R*, en sorte que tous nos résultats se rapportent à des efforts qui ont réellement fait équilibre à la résistance utile produite dans le travail.

La scie était cylindrique, cette forme étant la seule qui permît d'employer cet outil à la manière des forets et d'utiliser ainsi notre appareil d'expérimentation. Le genre de forage exécuté avec cette scie était celui d'agrandissement, et la voie de la scie représentait la quantité dont on agrandit le rayon du cylindre foré.

Une lame de scie anglaise de $0^m,10$ de largeur et de $0^m,001$ d'épaisseur était reçue dans une rainure circulaire pratiquée sur un plateau de bois (*m. n. o. p.* fig. 5). De petites calles enfoncées dans la rainure, extérieurement à la lame, forçaient celle-ci à se développer sur le noyau circulaire au centre de la rainure. La lame s'appuyait exactement sur le fond de la rainure et fesait une saillie d'environ $0^m,08$ sur le plateau (fig. 6 et 7).

Une tige de bois (*HI* fig. 6 et 7), était fixée au centre du plateau, perpendiculairement à son plan et servait d'axe à la scie. L'extrémité de cette tige creusée cylindriquement s'appuyait sur le pivot (*E* fig. 5) du chariot du tour, ce qui fait que la scie travaillait dans les expériences à la manière des forets (*L M* fig. 1).

Un conducteur cylindrique, (*r s* fig. 7) placé au centre de la scie et dans le prolongement de son axe, s'engageait avec le moins de jeu possible dans un trou pratiqué dans le bois à expérimenter correspondant exactement avec l'axe du tour, ce qui empêchait toute déviation de la scie.

Les extrémités des dents de la scie étaient dans un même plan perpendiculaire à l'axe de la tige et du conducteur. Il a été impossible d'enrouler la scie suivant un cylindre à base circulaire parfait, il en résulte que la largeur de la rainure creusée par la scie

sur le plateau de bois, dans les expériences, était plus grande que la voie marquée par l'écartement des dents.

Pour plus de solidité le levier dynamométrique (*Vz* fig. 6, 7 et 8) était cloué sur le plateau sur lequel la scie était adaptée.

Le bois donne lieu à des irrégularités par la disposition de ses fibres, par son inégale résistance à l'arrachement, par la présence des nœuds, etc.; irrégularités qui nous ont forcé à des précautions, que nous ne rappellerons pas, et malgré lesquelles il y a eu des résultats exceptionnels dont nous n'avons pas tenu compte.

Chaque outil exige pour son emploi le plus avantageux une certaine disposition des fibres du bois. Le bois à expérimenter était fixé sur la plate-forme du tour alternativement de deux manières, le fil suivant l'axe du tour ou perpendiculairement à cet axe.

La même pression ne fait pas toujours pénétrer l'outil, gouge, mèche anglaise ou scie, de la même quantité dans le bois à chaque tour; il en résulte des variations dans la résistance utile, et le moment du contrepoids suspendu au levier dynamométrique n'est plus proportionnel à cette pression comme dans le forage des métaux. Nous avons cependant remarqué que l'effort exercé par l'outil était proportionnel à la quantité dont il pénétrait dans le bois à chaque tour, ou à la quantité de travail effectuée. Nos formules de forage doivent donc être modifiées en ce sens, que le moment du contrepoids suspendu au levier dynamométrique doit être exprimé en fonction de la pénétration de l'outil à chaque tour au lieu de la pression. Ce sont donc les formules 15 et 16, page 82 de notre 2e partie que nous emploierons. Savoir :

$$M = A\delta D^2 \qquad (1)$$

pour le moment relatif à un premier forage ou creusage du bois et

$$M = A\delta(D^2 - D'^2) \qquad (2)$$

pour le moment relatif à un forage ou creusage d'agrandissement.

Dans ces formules on représente par :

M Le moment de la résistance utile.
A Un coëfficient numérique donné par l'expérience.
δ La quantité dont l'outil pénètre à chaque tour.

D Le diamètre du cylindre agrandi.

D' Le diamètre du cylindre primitif ou du noyau au centre de la rainure creusée par la scie cylindrique.

Le travail avec la scie cylindrique a nécessité les précautions suivantes:

1° Afin de laisser échapper la sciure et prévenir l'engorgement de la scie, on avait enlevé la moitié des dents et évidé les intervalles entre les dents.

2° On avait découpé le plateau, sur lequel la scie devait opérer, en secteurs circulaires concentriques à l'axe du tour, présentant à l'emplacement de la rainure à pratiquer autant de vide que de plein. Dès que la rainure avait une profondeur de $0^m,02$, on enlevait le bois excédant le fond de cette rainure, ce qui prévenait tout engorgement et tout frottement de la lame de la scie contre les parois de la rainure.

3° Si le plateau n'eut pas été découpé, la quantité de sciure obtenue eut été double pour une même pénétration ou pour un même avancement de la scie suivant l'axe du tour, la quantité de travail utile dépensée eut été double ainsi que le moment du contrepoids suspendu au levier dynamométrique. Il faut tenir compte de cette circonstance particulière à nos expériences avec la scie dans la valeur du coëfficient A équation (1) et (2).

4° Pour déterminer l'avancement moyen à chaque tour de la gouge, mèche anglaise ou scie, toutes choses égales d'ailleurs, nous comptions le nombre de tours qu'il fallait pour pénétrer dans le bois d'une certaine quantité ; le quotient de cette quantité par le nombre de tours nous donnait la pénétration moyenne.

Nous donnons ci-après les résultats moyens de nos expériences.

Tableau des résultats moyens obtenus dans les expériences faites par l'auteur sur la résistance utile produite dans le travail du bois.

Nos d'ordre.	Essence du bois.	Dispositions des fibres relativement à l'axe du tour.	Désignation de l'outil.	Pression contre l'outil.	Moment de la résistance M.	Quantité δ dont l'outil avance à chaque tour.	Diamètre du cylindre creusé par la gouge ou la mèche anglaise.	Diamètre de la circonférence extérieure de la scie cylindrique valeur de D.	Diamètre de la circonférence intérieure de la scie cylindrique valeur de D'.	Voie de la scie.	Valeur du coëfficient A en nombre rond.	Quantité de travail utile pour réduire en sciure un décimètre cube de bois. En nombre rond. Kilogrammes-mètres.
1	Chêne sec	Suivant l'axe du tour	Gouge de menuisier	30 k°	0,440	0,000781	0,019	»	»	»	1561000	12500
2	Id.	Perpendiculaire à l'axe du tour	Id.	33	0,584	0,000982	0,019	»	»	»	1647000	13200
3	Hêtre sec	Suivant l'axe du tour	Mèche anglaise	32,778	0,344	0,000366	0,025	»	»	»	1504000	12000
4	Id.	Perpendiculaire à l'axe du tour	Id.	50	0,49	0,001251	»	»	»	»	627000	5000
5	Chêne sec	Suivant l'axe du tour	Id.	24,286	0,233	0,000090	0,025	»	»	»	4142000	33000
6	Id.	Perpendiculaire à l'axe du tour	Id.	37,222	0,263	0,000420	0,025	»	»	»	1002000	8000
7	Id.	Suivant l'axe du tour	Scie cylindrique	3	1,147	0,000614	»	0,213	0,207	0m,003	1483000	11900

Observation. Pour éviter l'engorgement de la scie, le plateau sur lequel elle travaillait avait été découpé, ainsi que nous l'avons déjà dit, en secteurs circulaires dont la moitié était enlevée, de manière à laisser autant de vide que de plein.

La scie ayant travaillé sur une surface de bois réduite de moitié, la pénétration a dû être double. Il faut donc dans le calcul de la valeur du coëfficient A prendre pour la quantité dont la scie avancerait suivant l'axe sur un plateau non évidé $\delta = 0{,}000307$ au lieu de $\delta = 0{,}000614$.

D'après les expériences N° 1 et 2, la gouge présente un peu plus de facilité lorsqu'on l'emploie suivant les fibres du bois.

Les expériences N° 3, 4, 5 et 6 montrent l'avantage de la mèche anglaise lorsqu' elle agit perpendiculairement aux fibres : la pointe centrale conductrice qu'elle possède rend les trous plus réguliers.

En général on préfère la gouge pour forer suivant le fil du bois et la mèche anglaise pour creuser dans une direction perpendiculaire.

Les expériences font voir que le chêne est bien plus difficile à travailler que le hêtre.

Le sciage du chêne sec exige environ 11900 soit 12000 kilogrammes-mètres par décimètre cube de matière divisée, ou pour une couche de un millimètre sur une surface d'un mètre carré. En donnant $0^m{,}0035$ à la voie, le débitage du chêne sec consommerait 42000 kilogrammes-mètres par mètre carré de surface. Cette dépense de force est à peu près égale à la quantité d'action évalué par MM. Navier et Morin pour le débitage d'un mètre carré de bois en grume par deux scieurs de long. Mais il faut remarquer que le bois vert est plus tendre et exige une voie de la scie plus large que le bois sec.

NOTE IV.

Détermination du pas des hélices suivant lesquelles les rayures des canons doivent être inclinées.

Énoncé de la question.

On se sert de canons rayés pour procurer un mouvement de rotation aux projectiles allongés. Le mouvement de rotation a pour

objet de maintenir la pointe du projectile en avant : il doit encore persister au moment où le but est touché.

Il existe une certaine relation, encore inconnue, entre la force vive finale de translation, et la force vive finale de rotation, qui empêche le renversement du projectile. On en simplifie la recherche, en substituant les forces vives initiales de translation et de rotation aux forces vives finales.

Pour déduire un canon rayé d'un certain calibre, d'un autre canon rayé pris pour type, il faut entre autres choses connaître la loi de variation du pas des rayures suivant le calibre : et si l'on cherche ce pas expérimentalement, au moyen de canons, dont les rayures sont diversement inclinées, il est utile d'avoir un point de départ rationnel sur la longueur du pas moyen entre tous ceux essayés.

A défaut d'expériences suffisantes, et en attendant qu'elles soient faites, M. le général Timmerhans, de l'artillerie belge, a émis le principe suivant permettant de trouver ce pas moyen.

Le rapport de la force vive initiale de rotation du projectile à sa force vive initiale de translation, doit être le même pour les différents calibres et pour des projectiles semblables.

Ayant exprimé ce principe analytiquement nous en avons déduit la règle simple et remarquable que voici :

Lorsque les projectiles sont semblables, les pas des rayures doivent être proportionnels aux calibres.

Cette règle avait déjà été posée ou suivie par plusieurs artilleurs, mais aucun, à notre connaissance, n'avait exprimé le principe d'où elle découlait.

Expressions des forces vives initiales de rotation et de translation de deux projectiles semblables et de calibres différents.

Représentons par :

M La masse d'un projectile.

D Le calibre d'un projectile.

v La vitesse initiale de rotation du projectile.

V La vitesse initiale de translation du projectile.

MK^2 Le moment d'inertie du projectile par rapport à l'axe de rotation.

Représentons en outre, par les mêmes lettres accentuées, les données relatives à un projectile semblable du calibre D'.

Nous exprimerons pour le projectile du calibre D, par :

(1) $v^2 M K^2$ La force vive initiale de rotation.

(2) $V^2 M$ La force vive initiale de translation.

Les mêmes lettres accentuées signifieront pour le projectile du calibre D' :

(3) $v'^2 M' K'^2$ La force vive initiale de rotation.

(4) $V'^2 M'$ La force vive initiale de translation.

Les deux projectiles étant semblables nous aurons le rapport

$$(5) \qquad \frac{K^2}{K'^2} = \frac{D^2}{D'^2}$$

Expression de l'égalité hypothétique entre les rapports des forces vives initiales de rotation aux forces vives initiales de translation, pour deux projectiles semblables de calibres D et D'.

D'après le principe qui vient d'être énoncé, le rapport des formules (1) et (2) doit être égal à celui des formules (3) et (4), d'où :

$$\frac{v^2 M K^2}{V^2 M} = \frac{v'^2 M' K'^2}{V'^2 M'}$$

On en déduit :

$$(6) \qquad \frac{v^2 K^2}{V^2} = \frac{v'^2 K'^2}{V'^2}$$

Cette équation devient, à cause de la formule (5) :

$$(7) \qquad \frac{v^2 D^2}{V^2} = \frac{v'^2 D'^2}{V'^2}$$

Soient actuellement :

P Le pas de la rayure du canon du calibre D.
P' Idem Idem Idem D'.

Nous avons pour expressions des vitesses initiales du rotation :

$$(8) \quad v = \frac{V}{P} \qquad (9) \quad v' = \frac{V'}{P'}$$

Substituant ces valeurs de v et v' dans l'équation (7) il vient toute réduction faite :

$$(10) \qquad \frac{P}{P'} = \frac{D}{D'}$$

L'équation (10) est indépendante des vitesses initiales : elle exprime comme conséquence que :

Le rapport des forces vives initiales de rotation et de translation, étant supposé le même pour des projectiles semblables mais de différents calibres, les pas des rayures des diverses bouches à feu, doivent être entre eux dans le même rapport que les calibres.

Détermination du pas des rayures, en prenant comme point de départ le pas de 6 mètres adopté en France pour le canon de 30 en fonte de la marine.

Nous ne voulons pas examiner si le pas de 6 mètres, adopté en France pour le canon de 30, est le meilleur ; mais en le supposant tel jusqu'à preuve du contraire, par d'autres expériences concluantes, l'équation (10) nous permet de trouver, par une simple proportion, les pas qui conviennent aux rayures des bouches à feu de différents calibres et pour des projectiles à tetons.

DÉSIGNATION DU CALIBRE.	DIAMÈTRE DE L'AME (MILLIMÈTRES).	LONGUEUR DU PAS DE LA RAYURE.	POIDS DU PROJECTILE VIDE
30	164,7	6, mètres	24,k°70
24	151,7	5,526	20, 95
18	137,4	5,005	14, 05
12	119,9	4,368	9, 40
6	95,6	3,483	4, 69

Les expériences faites en France semblent confirmer le principe que le pas des rayures doit être proportionnel au calibre pour des

projectiles semblables : on a trouvé par exemple, que le pas du canon de 18 devait être de 5 mètres, comme il est indiqué dans le tableau précédent.

Ce serait un travail intéressant, de constater par expérience, le moment d'inertie des projectiles adoptés pour les armes à feu rayées, et de les comparer avec les pas des rayures, qui ont paru les meilleurs pour les différents calibres : peut-être, pourrait-on en déduire des lois ou des analogies utiles, pour la question des bouches à feu rayées.

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans la troisième partie de ce Mémoire.

LIVRE I.

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES TOURS. — TOURNAGE DES BOUCHES A FEU ET DES GLOBES D'ÉPROUVETTE.

CHAPITRE I.

Tour en l'air. — Tour à deux pointes.

CHAPITRE II.

Tournage au crochet de tour.

CHAPITRE III.

Tournage au support fixe.

CHAPITRE II.

Achèvement des bouches à feu en bronze

APPENDICE AU LIVRE II.

LIVRE III.

VISITES ET ÉPREUVES DES BOUCHES A FEU.

CHAPITRE I.

But de la visite des bouches à feu. — Description des instruments vérificateurs dans les places.

CHAPITRE II.

Description des instruments qui, indépendamment de ceux existants dans les places, sont nécessaires pour la visite des bouches à feu neuves.

CHAPITRE III.

Défauts des bouches à feu.

CHAPITRE IV.

Visite des bouches à feu.

CHAPITRE V.

Epreuves du tir et de l'eau.

CHAPITRE VI.

Réglements de la fonderie de Liége sur la visite, l'épreuve et la réception des bouches à feu en bronze et en fonte.

CHAPITRE VII.

Principaux instruments pour la visite et la réception du mortier éprouvette et du globe.

CHAPITRE VIII.

NOTE I.

NOTE II.

Détails sur les Tours.

Tour à plate-forme et à 2 pointes. $\frac{1}{20}$
Élévation

Tour à plate-forme et à 2 pointes. $\frac{1}{20}$
Vue de côté

Tour en l'air

Support pour crochet de tour $\frac{1}{10}$
Plan

Fig. 11.

Fig. 4

Fig. 14

Boulon à marteau

Fig. 1

Doquin

Fig. 15

Fig. 7

Arbre avec embases

Fig. 8.

Arbre à tourillon conique.

Fig. 3.

Support de crochet de tour $\frac{1}{10}$
Élévation

Fig. 13

Fig. 12

Support de crochet à tour
Vue de côté

Poulie

Fig. 5.

Montant de poupée $\frac{1}{10}$

Fig. 10

Mâchoires

Fig. 9

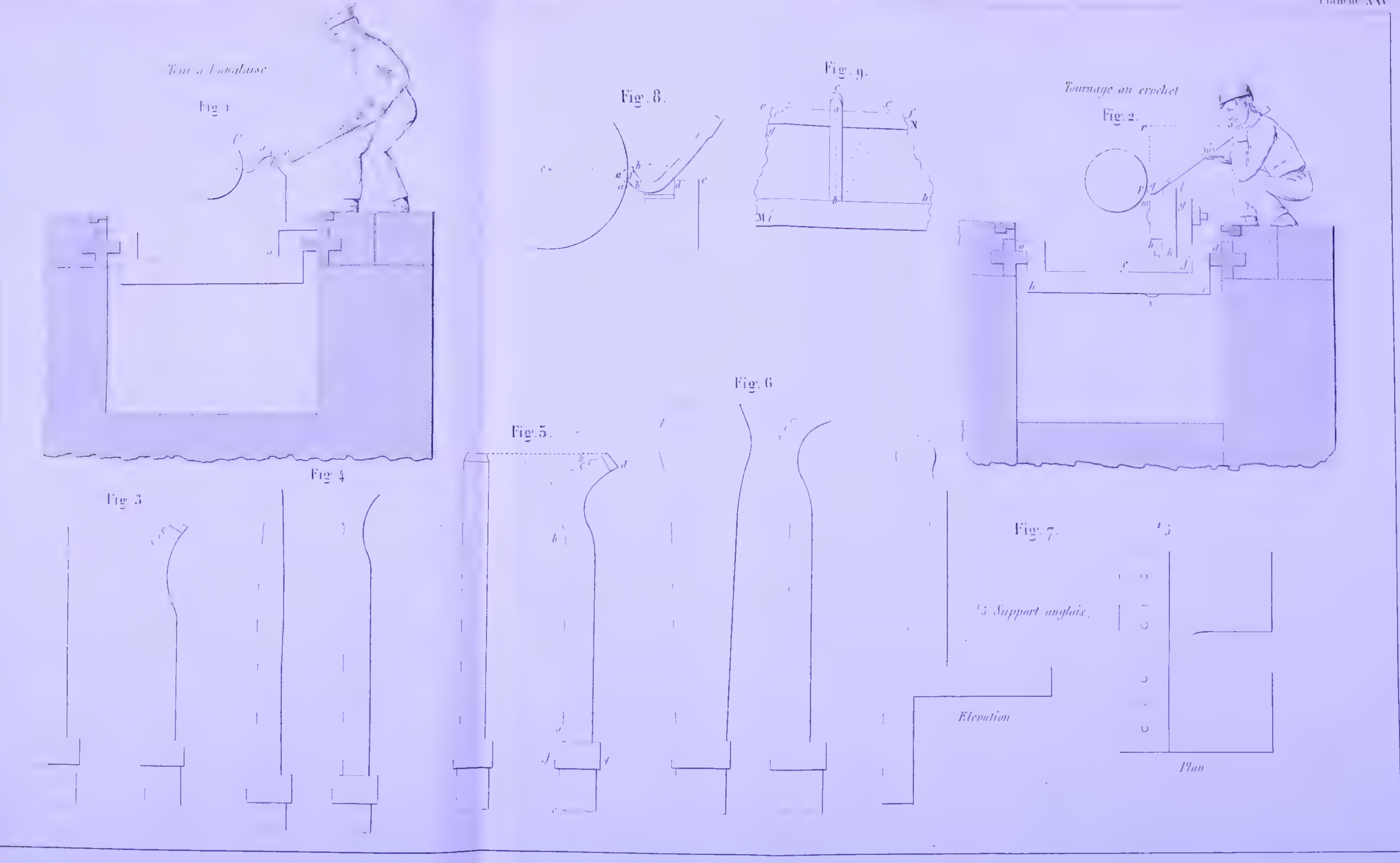
Fig. 2

Plan

Fig. 6

Tour à plate-forme à 2 pointes $\frac{1}{20}$

Tournage au crochet de tour



Support à glissières et burins à support fixe.

Fig. 1
Plan

Vue et élévation du coté opposé à la semelle

Fig. 2.

Fig. 3
Vue et élévation du coté de la semelle

Fig. 5

Fig. 6

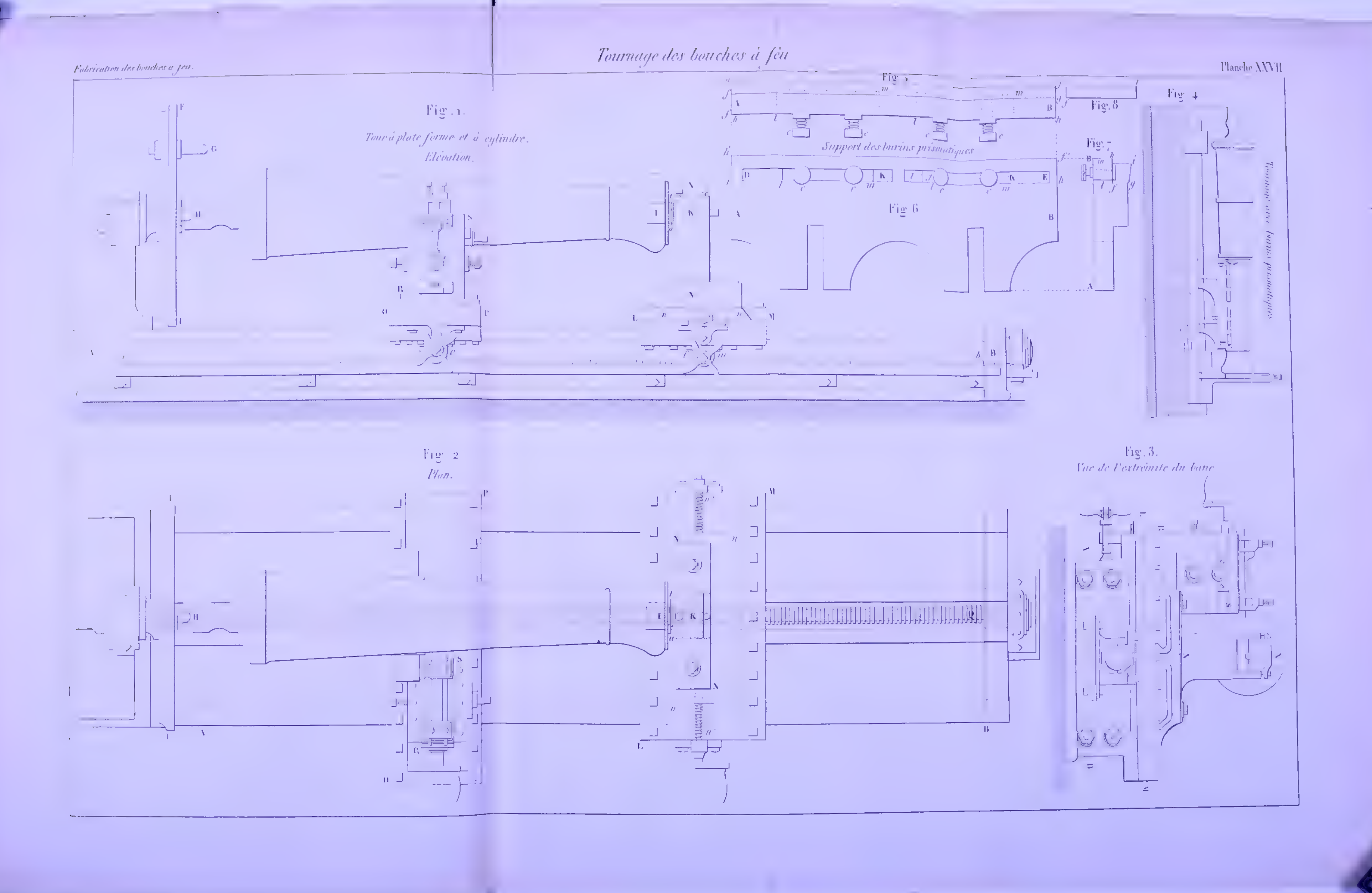
Fig. 8

Fig. 4
Elevation

Fig. 7

Fig. 10

Fig. 9



Fabrication des bouches à feu.
Tournage des bouches à feu
Planche XXVII
Fig. 1.
Tour à plate forme et à cylindre.
Élévation.
Fig. 2
Plan.
Fig. 3.
Vue de l'extrémité du banc
Fig. 4
Tournage avec burins prismatiques
Fig. 5
Support des burins prismatiques
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8

Machine à tourner les tourillons

Fig. 1

Elevation parallèlement à la pièce

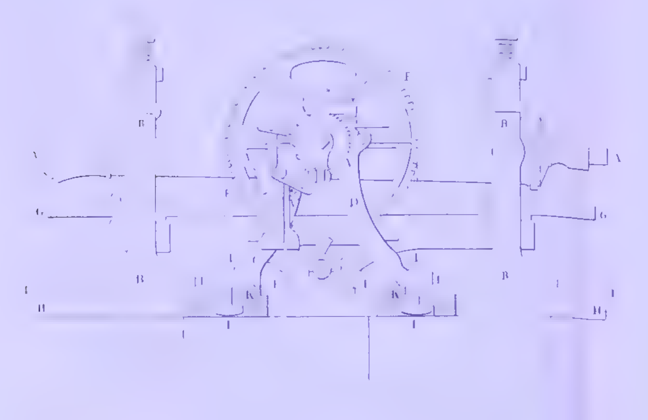


Fig. 2

Plan

- Fig. 4

Coupe suivant l'axe des tourillons et projection.

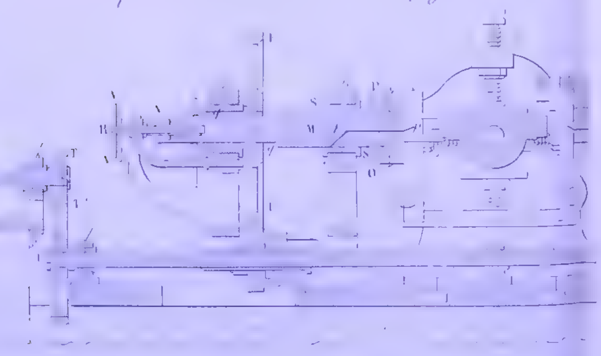
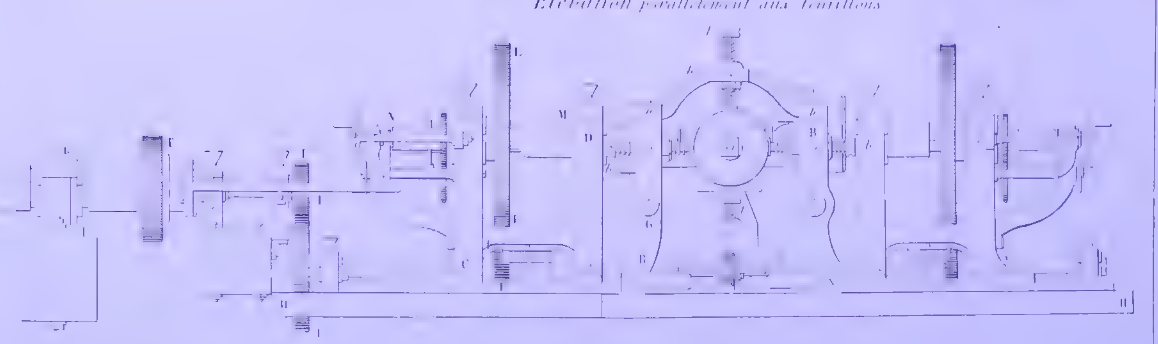
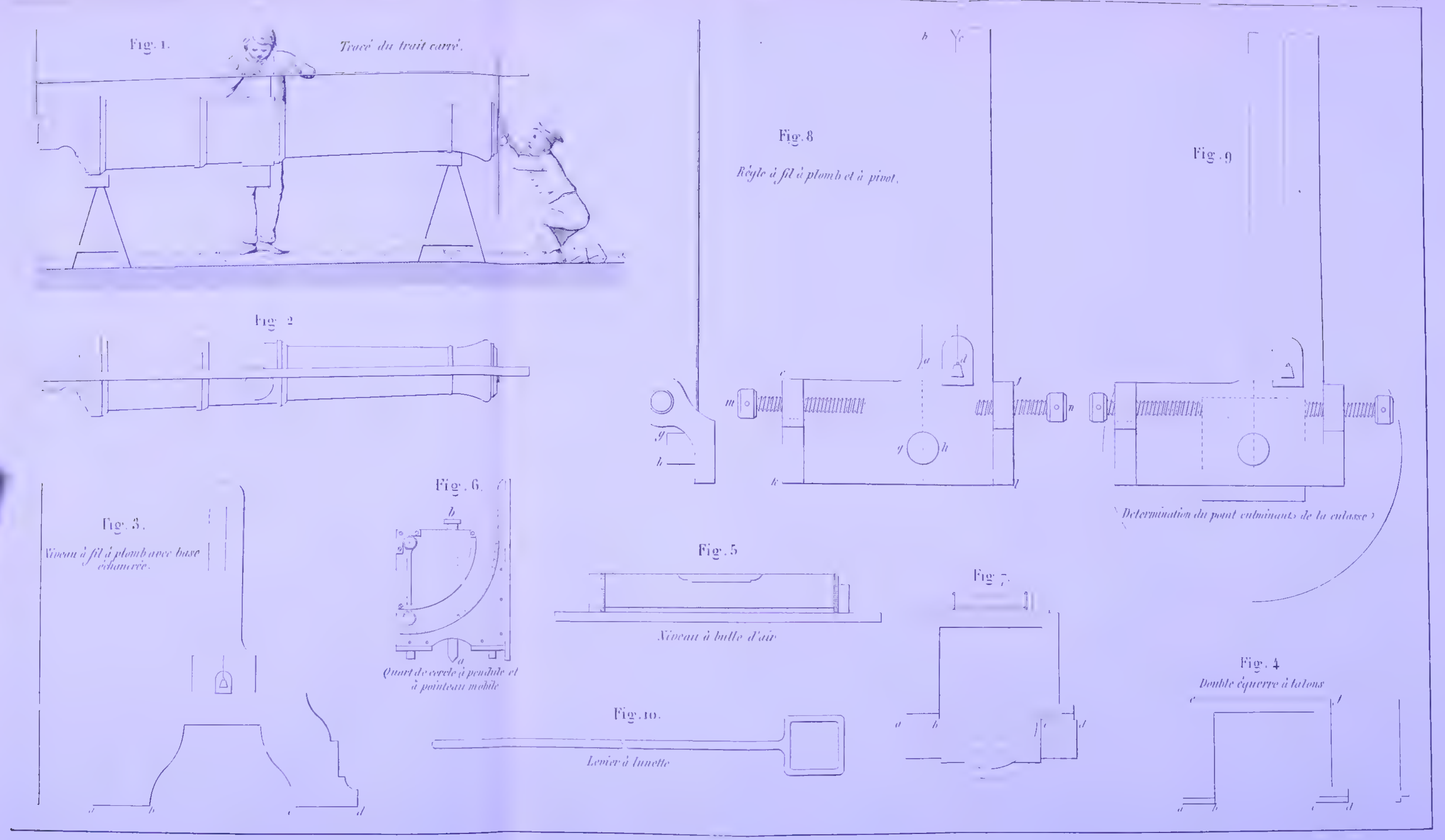


Fig. 3

Elevation parallèlement aux tourillons




Fig. 1.
Tracé du trait carré.
Fig. 2
Fig. 8
Règle à fil à plomb et à pivot.
Fig. 9
(Détermination du point culminant de la culasse)
Fig. 3.
Niveau à fil à plomb avec base échancrée.
Fig. 6.
Quart de cercle à pendule et à pointeau mobile
Fig. 5
Niveau à bulle d'air
Fig. 7.
Fig. 4
Double équerre à talons
Fig. 10.
Levier à lunette

Machine à tourner les globes d'éprouvette inventée par l'auteur.

Fig. 1
Plan

Nota. Les figures 1 et 2 sont à la même échelle; les autres ont des échelles amplifiées.

Fig. 2
Élévation

Fig. 12

Globe avec mandrin dans l'oeil et jet au pôle opposé

Fig. 11

Fig. 13

Fig. 14

Fig. 4
Coupe et élévation

Coupe par un plan suivant A B

Fig. 3

Fig. 8

Vue de coté

Fig. 9
Caisse en fonte Élévation

Fig. 10.

Fig. 5.

Plan.

Fig. 6.
Glissière.

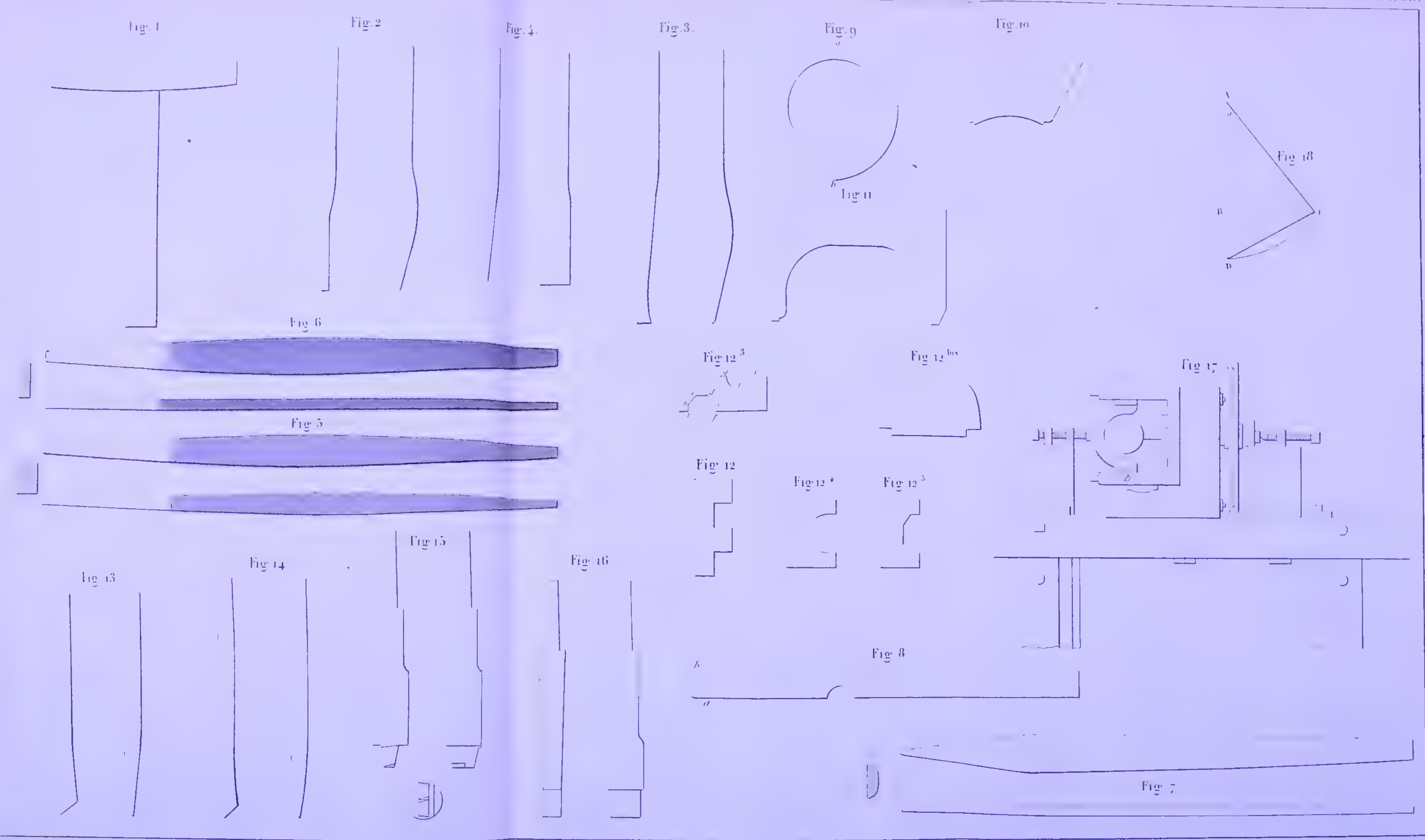
Élévation.

Fig. 7.
Glissière.

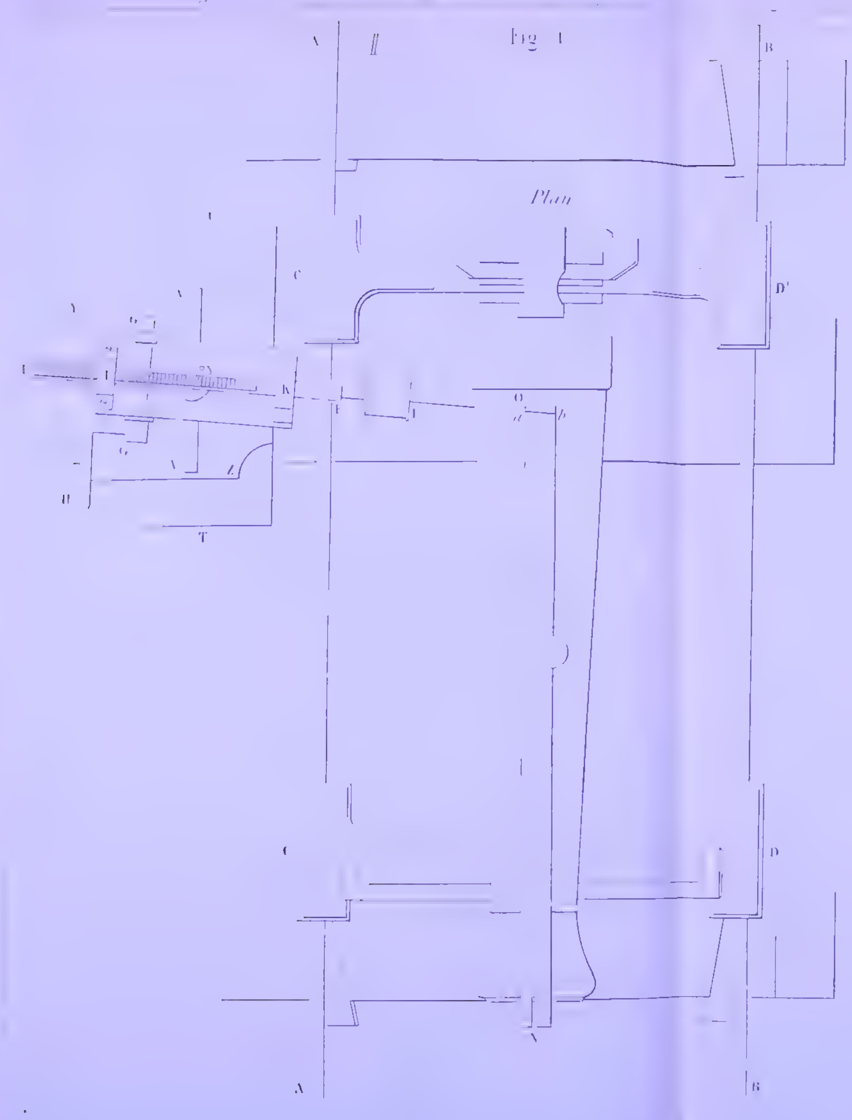
Plan.

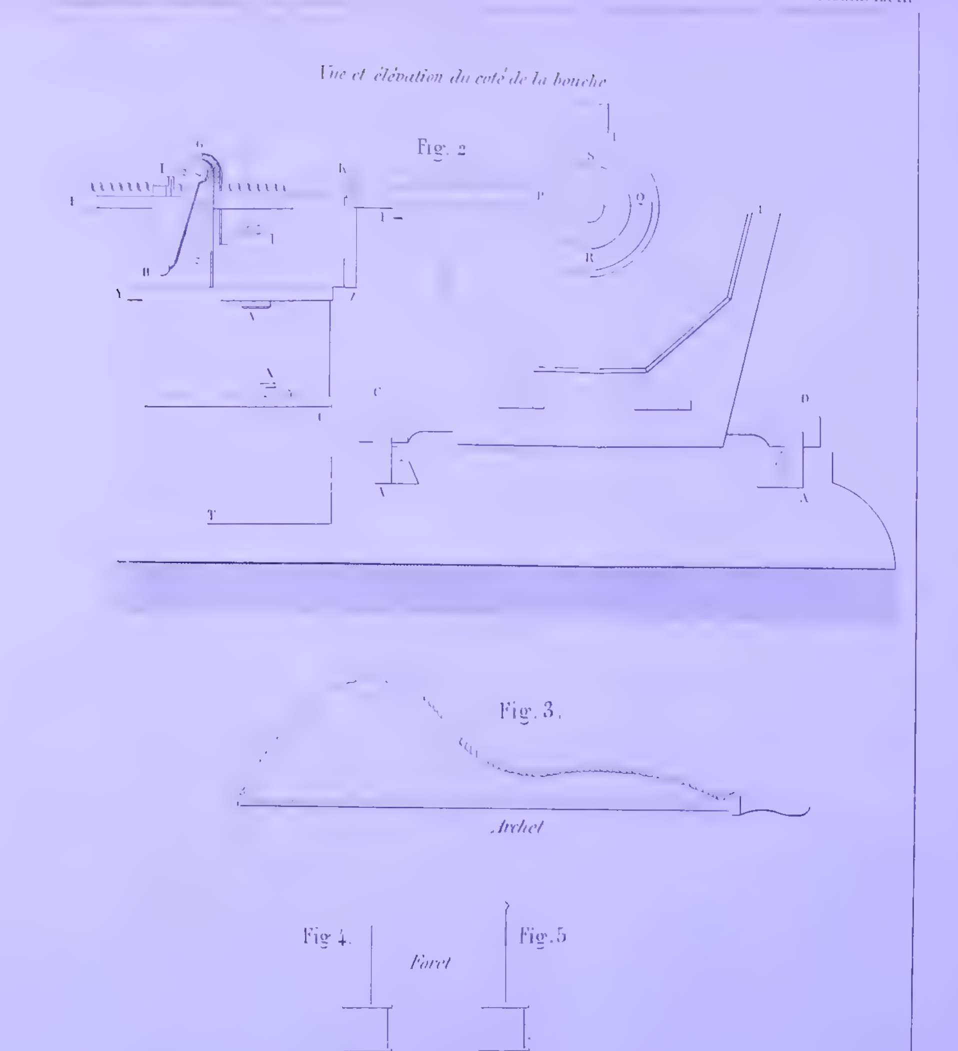
Plan.

Outils et gabarits. Machine de Moritz à tourner les globes.

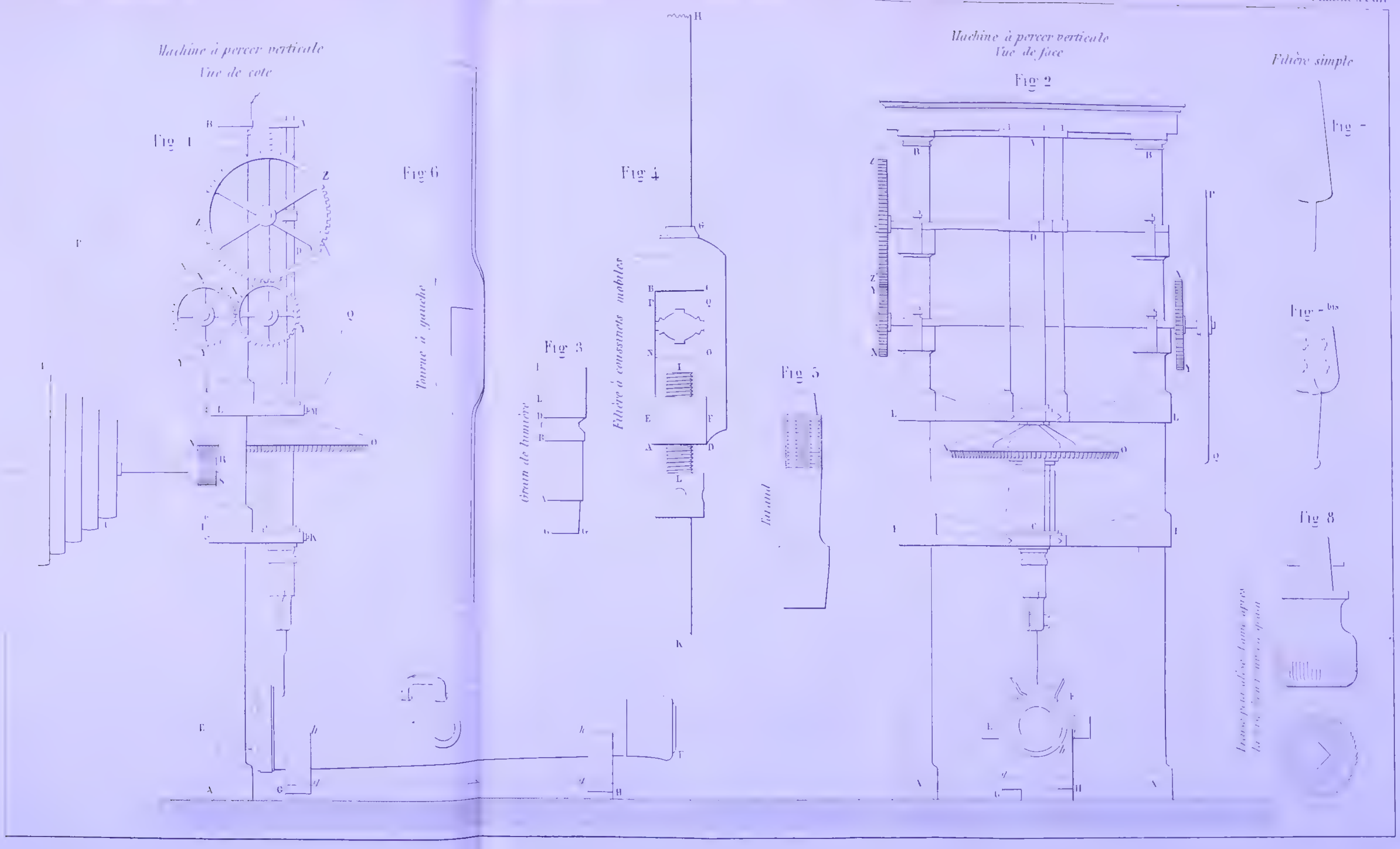


Banc à percer les lumières.





Machine à percer verticale Filière ; taraud , etc.



Instruments vérificateurs des bouches à feu et de l'éprouvette.

Arc de cercle gradué avec nonius

Fig. 1.

Sonde pour visiter la lumière de l'éprouvette

Fig. 3.

Règle à fourche et à coulisses.

Fig. 2

Double équerre à coulisse

Fig. 4.

Fig. 4 bis

Fig. 6.

Semelle de la règle à talons.

Règle à talons

Fig. 7.

Cylindres de réception et de rebut pour la chambre de l'éprouvette.

Fig. 15

Équerre en T à coulisse pour mesurer les longueur. de l'âme et de la chambre de l'éprouvette.

Fig. 5.

Fig. 8

Octogone à vis de repère

Fig. 9

Étoile mobile de l'éprouvette

Fig. 10.

Fig. 11

Étalon à coulisse et à vernier.

Fig. 12

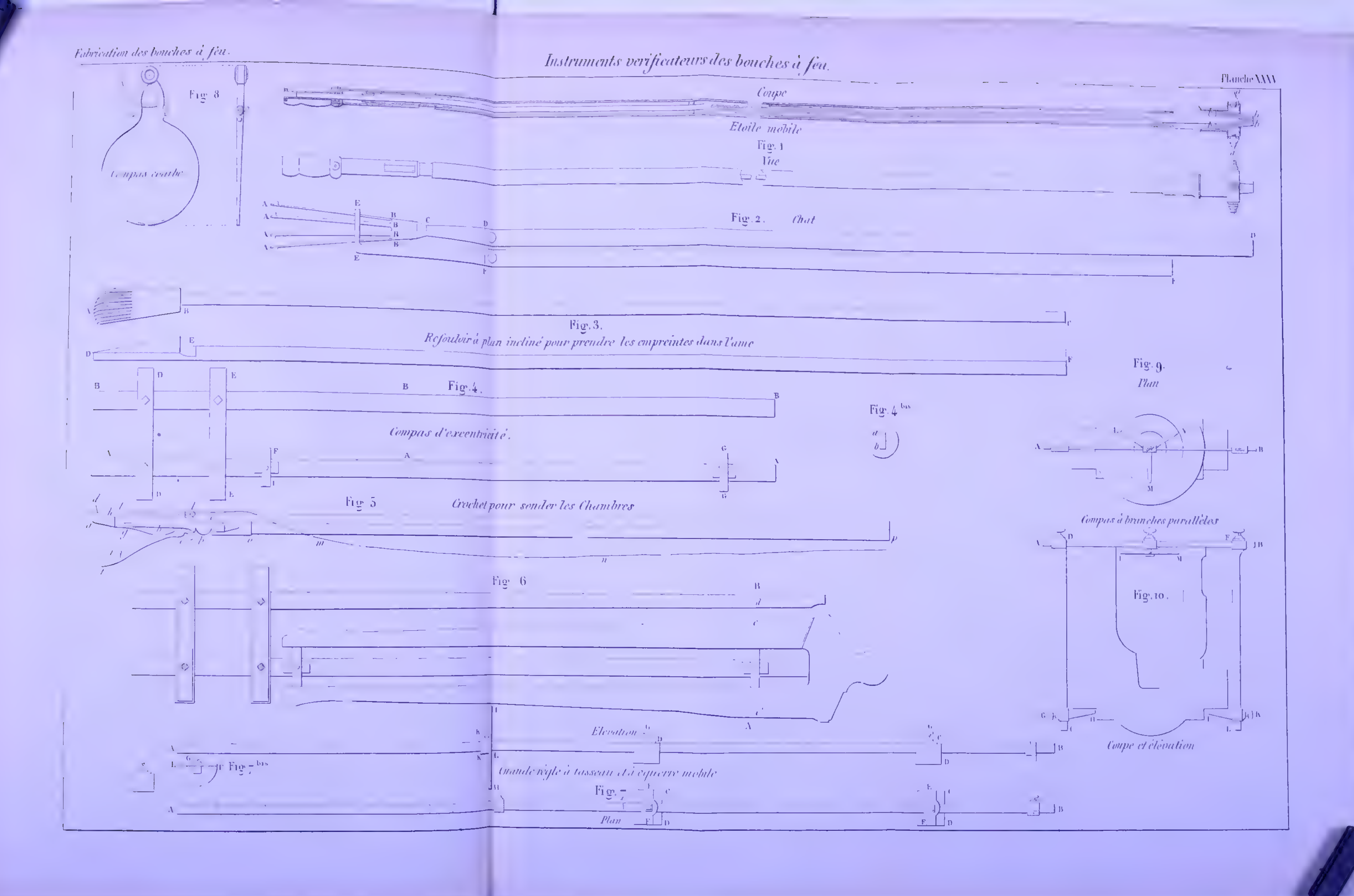
Fig. 13

Étalon à deux biseaux

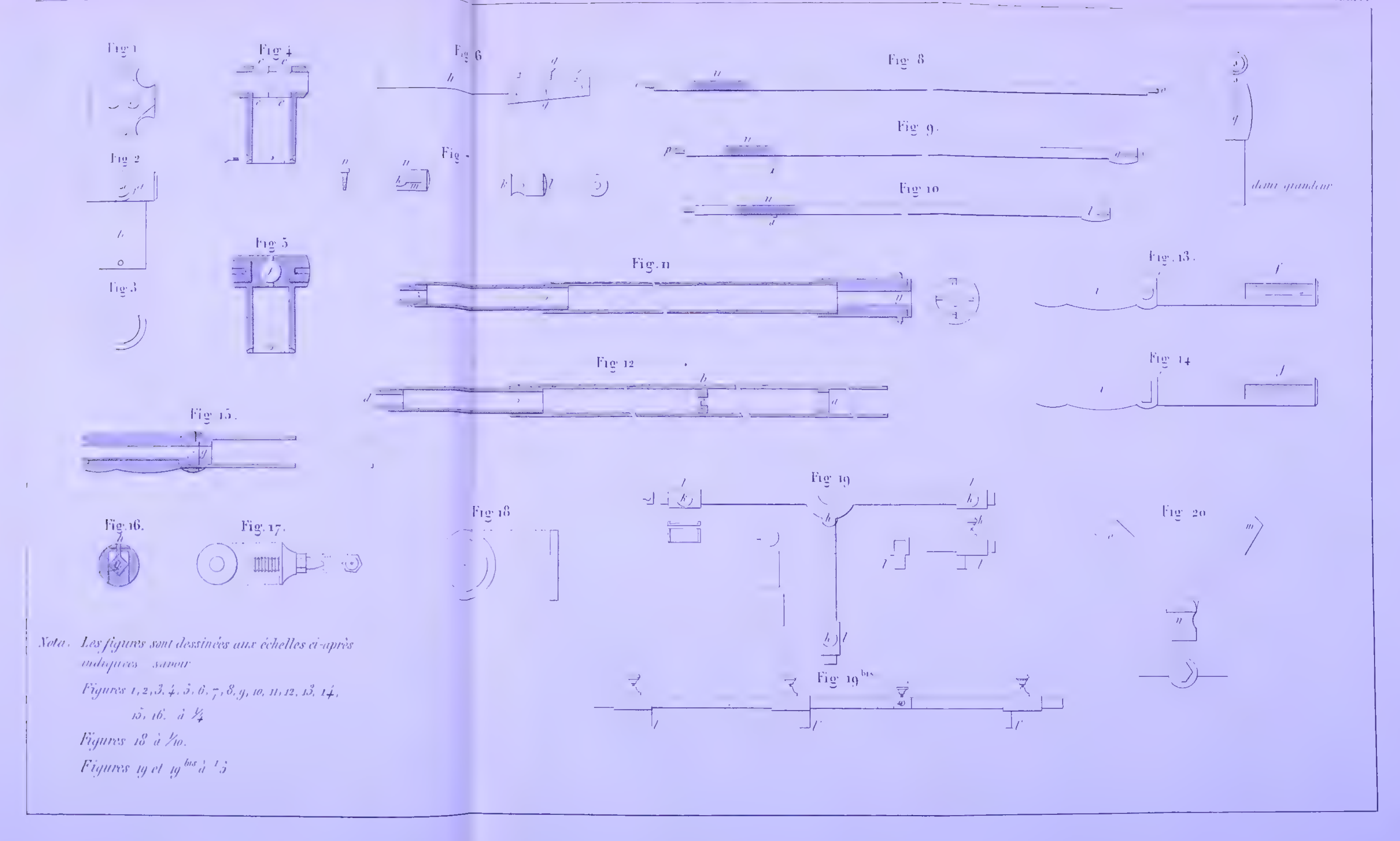
Fig. 14

Grande règle en acier

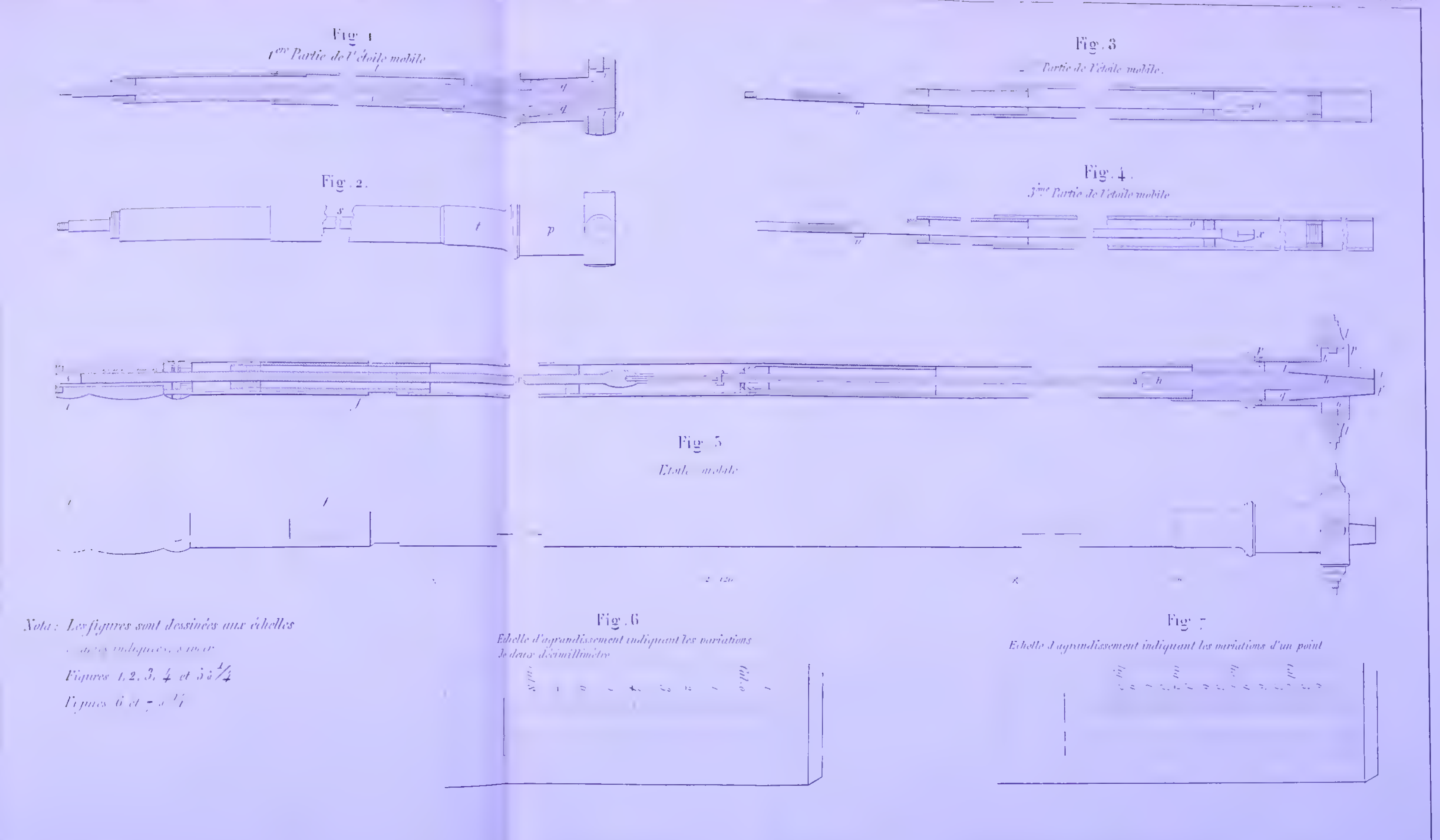
Instruments vérificateurs des bouches à feu.



Etoile mobile.



Etoile mobile.



Nota : Les figures sont dessinées aux échelles ci-après indiquées, savoir :

Figures 1, 2, 3, 4 et 5 à 1/4

Figures 6 et 7 à 1/1

Fig. 1
Plan du curvimètre et coupe de la pièce

Fig. 2
Élévation du curvimètre et coupe de la pièce

Fig. 3.

Fig. 4

Fig. 5
Coupe suivant H I

Fig. 6
Coupe par un plan suivant M N
Échelle amplifiée

Fig. 7
Vue sur un plan perpendiculaire à M N
Échelle amplifiée

Fig. 8

Miroir réflecteur.

Fig. 5

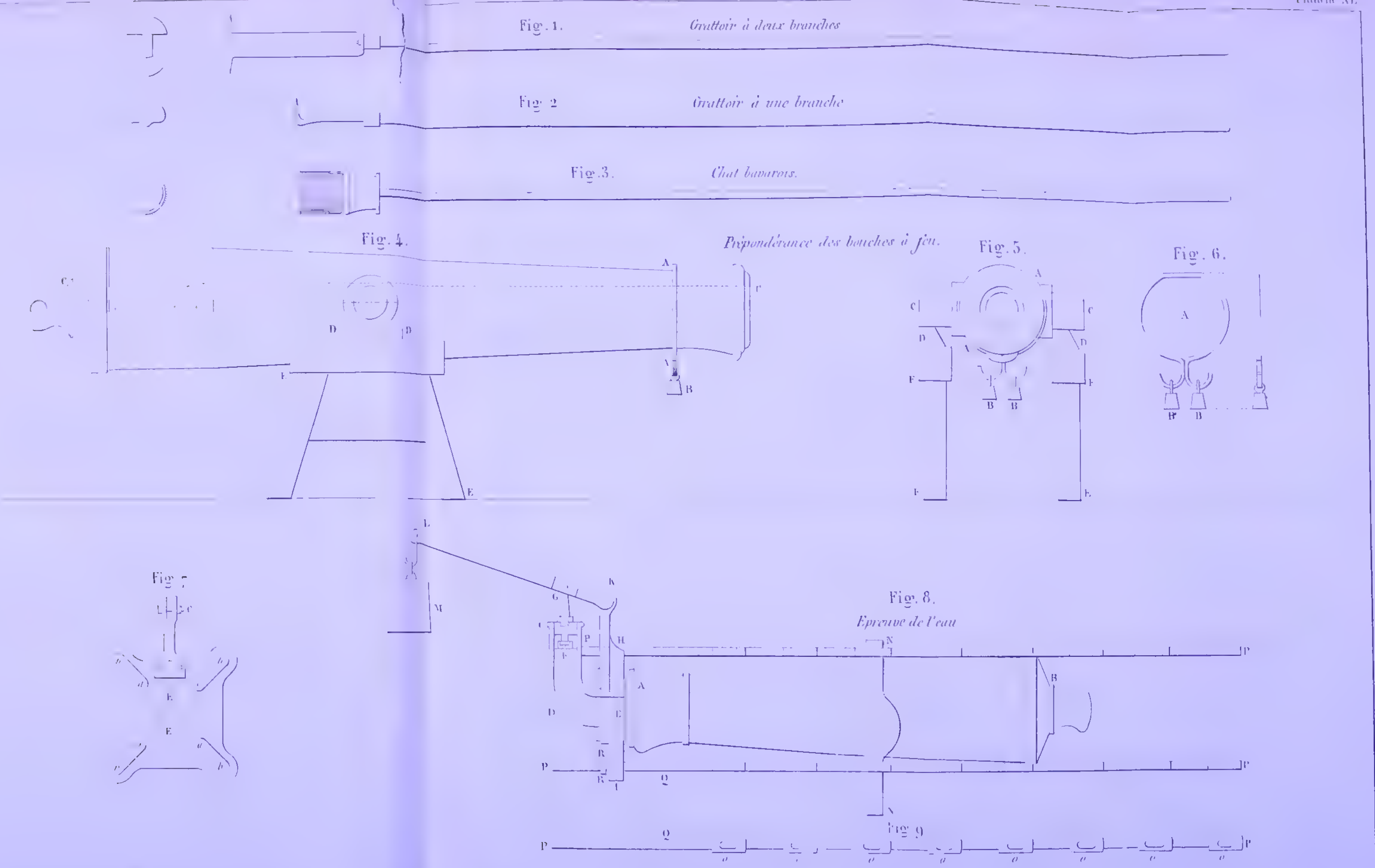
Fig. 1.

Fig. 4

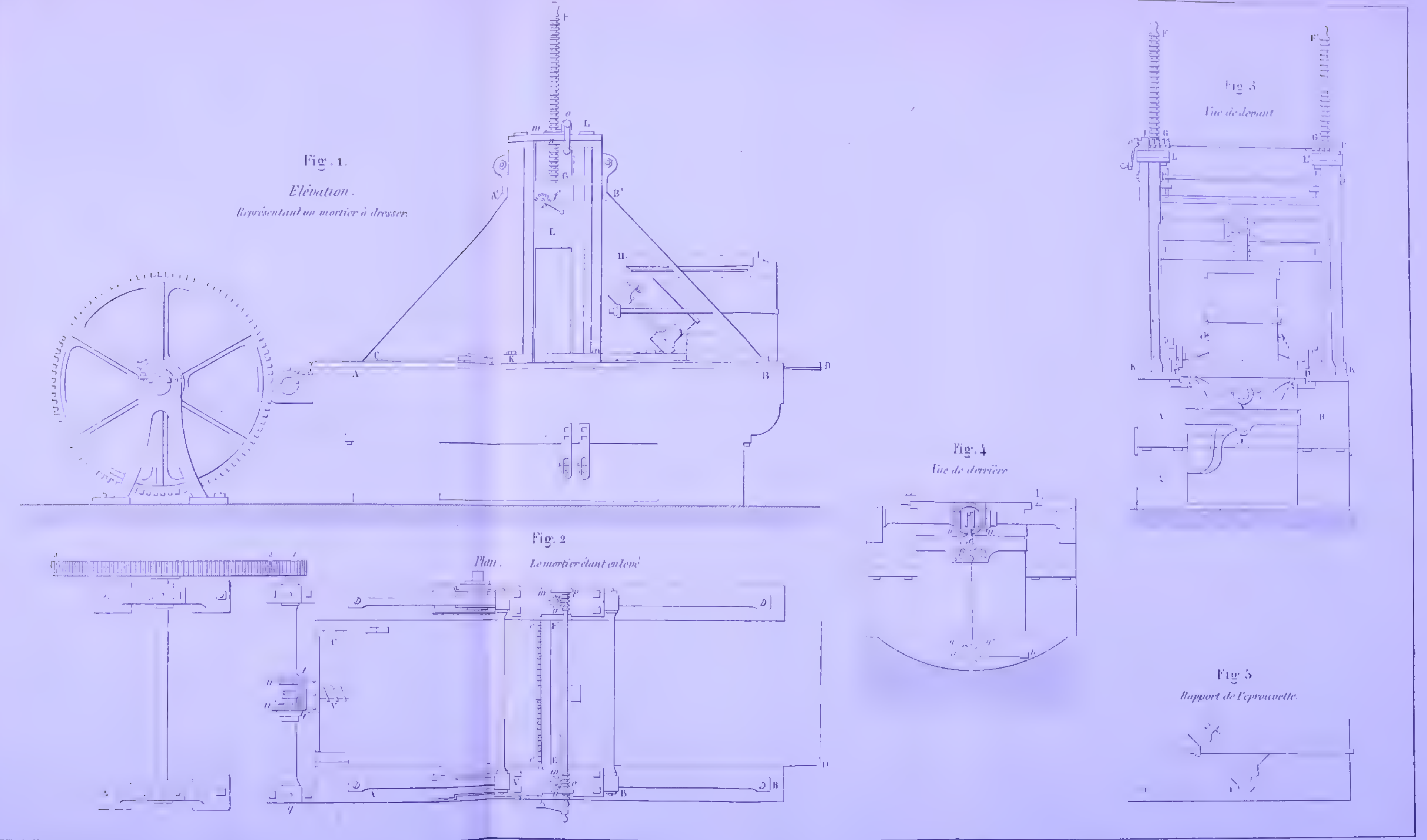
Fig. 2

Fig. 3

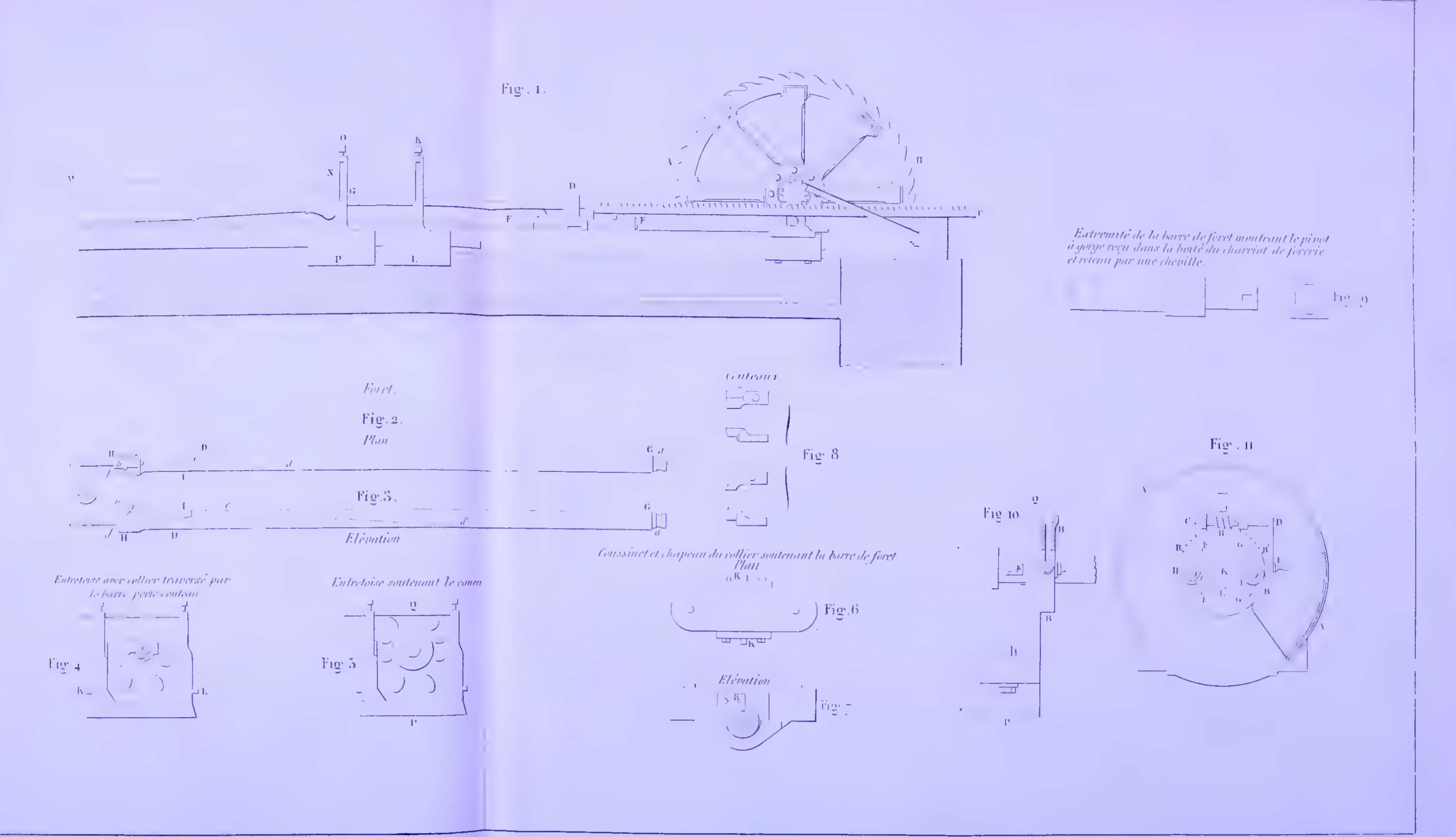
Prépondérance des bouches à feu. Epreuve de l'eau. Grattoirs.



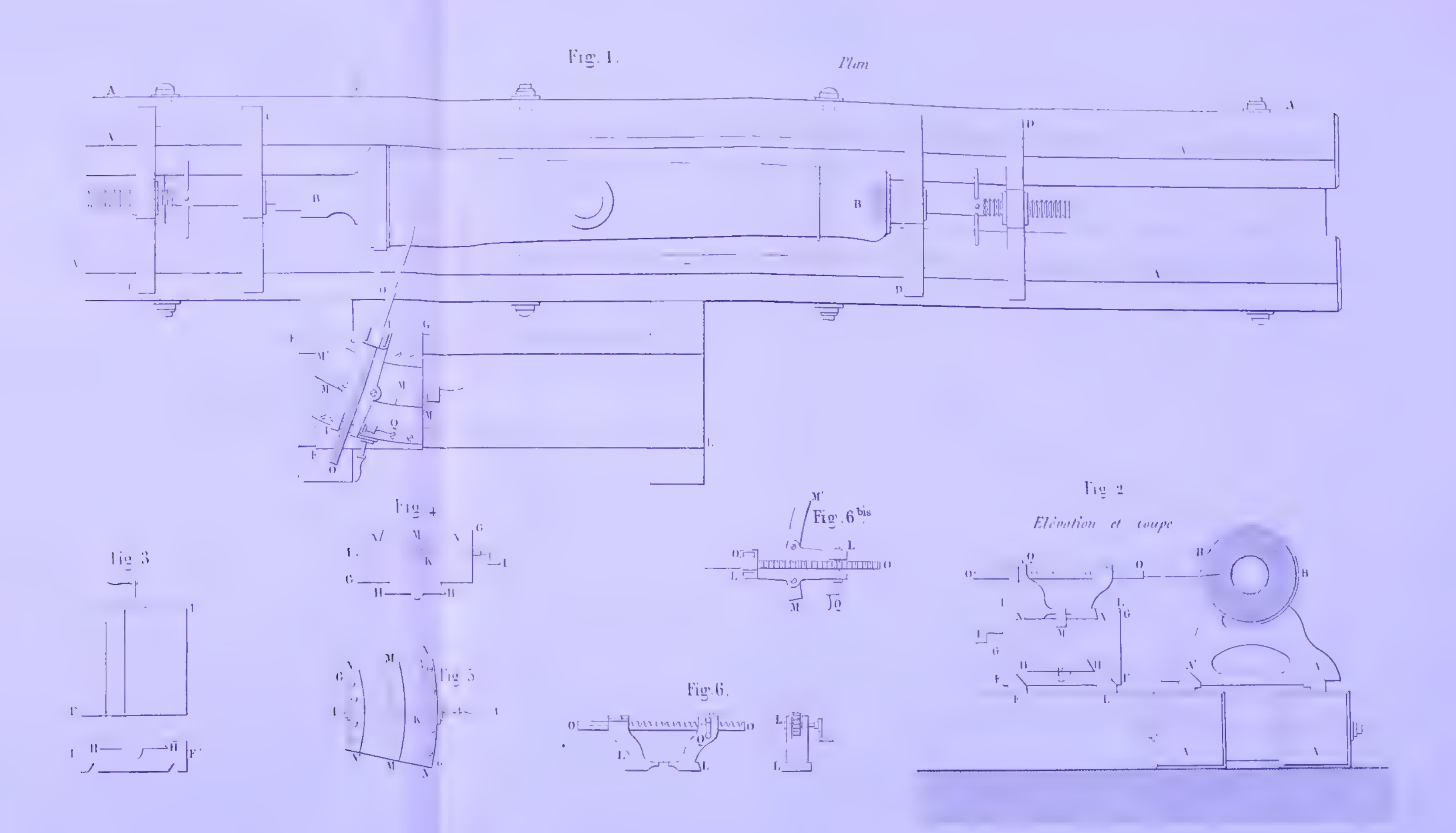
Machine à raboter la semelle de l'éprouvette



Banc de forerie disposé pour le rayage.



Banc à percer les lumières.



Appareil ayant servi aux expériences dynamométriques faites par l'auteur sur la résistance utile dépensée dans le forage et le sciage du bois.

Fig. 4
Partie antérieure du chariot du tour

Fig. 5
Plateau en bois sur lequel la scie était fixé

Scie cylindrique

Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8
Vue de derrière de la scie cylindrique.

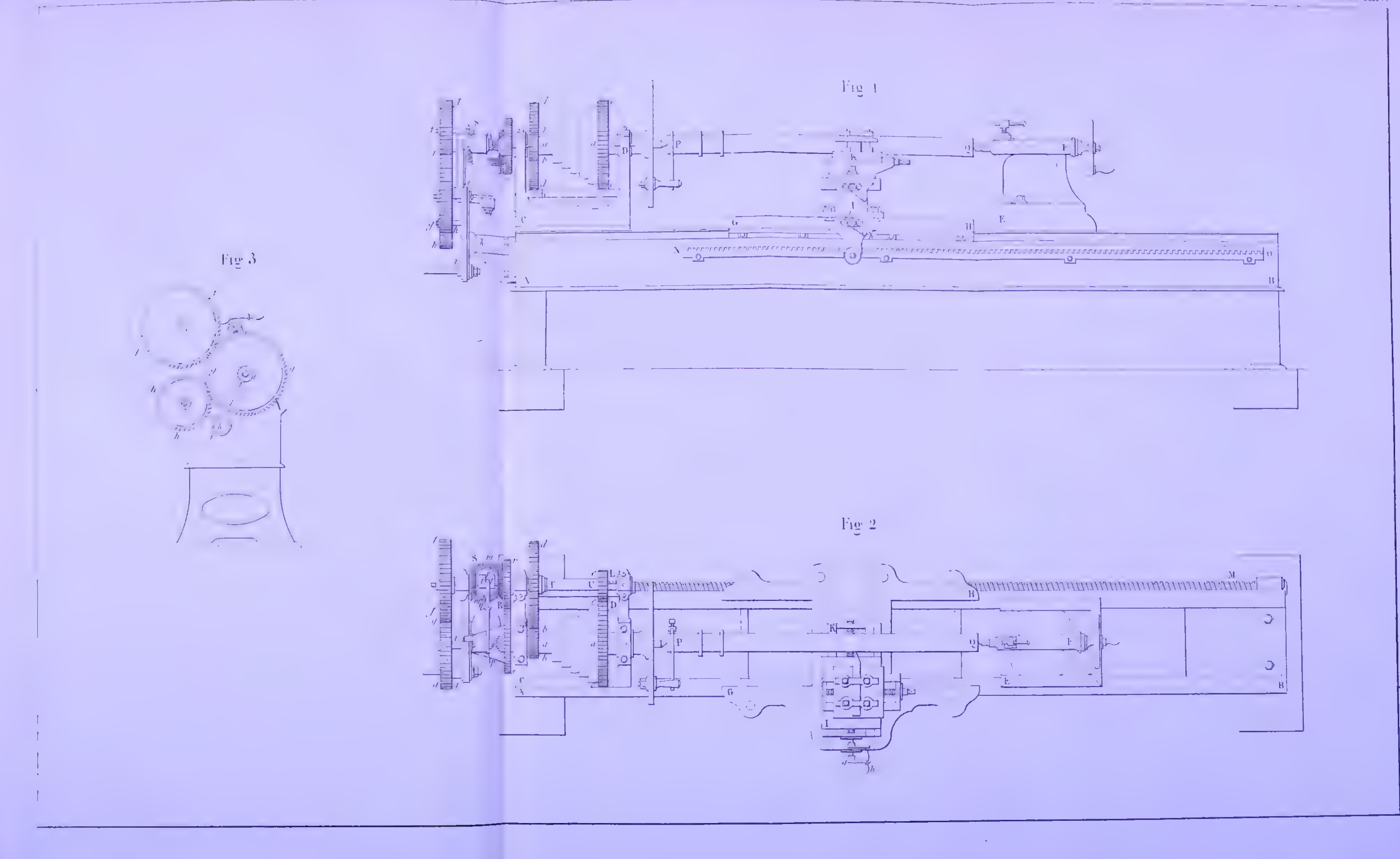
Fig. 3
Vue et coupe brisée du chariot du tour

Fig. 1
Élévation

Fig. 2.
Plan.

Appareil ayant servi aux expériences dynamométrique

0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1m00
Échelle


Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3

II. — *Note sur l'espèce générale et les variétés remarquables de la trajectoire d'une molécule d'éther lumineux*,

PAR

F. MEIER,

DOCTEUR EN SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES,
PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES, A LIÉGE.

OBJET DU MÉMOIRE.

En admettant la force accélératrice, qui sollicite une molécule d'éther lumineux, inversement proportionnelle à sa distance de la position d'équilibre ; on prouve que la *trajectoire* de la molécule est l'*intersection de deux cylindres à base elliptique*.

L'intersection de deux cylindres peut être *plane* ou *à double courbure*. Le genre de la courbure dépend, comme pour l'intersection de toutes les surfaces, des paramètres qui figurent dans les équations des cylindres.

A ce sujet M. Lamé dit, dans son cours de physique : N° 580, « *Dans le mouvement composé des 3 vitesses de vibration* v, v', v'', (composantes rectangulaires de la vitesse d'une molécule suivant 3 axes), *chaque molécule du fluide doit décrire en général une courbe fermée et à double courbure, intersection de deux cylindres à base elliptique.*

Dans cette question, M. Lamé n'a pas envisagé la nature particulière des paramètres, qui entrent dans les équations des cylindres, où ces paramètres sont tels que l'intersection doit toujours être plane.

Prouver l'inexactitude des conclusions de M. Lamé, quelle que soit l'intensité des vibrations ; déterminer la direction du plan de la trajectoire par rapport aux mouvements composants par des considérations relatives au plan osculateur; étudier l'espèce générale de cette courbe, ainsi que les variétés remarquables qu'elle présente, en la rapportant à des axes choisis dans son propre plan ; et établir, parmi les diverses conséquences, la loi de la polorisation circulaire ; tel est le but de ce mémoire.

I.

Équations de la trajectoire.

En décomposant le mouvement de la molécule d'éther suivant trois axes rectangulaires et désignant par α, α', α'' les amplitudes des vibrations, par φ, φ', φ'' les phases suivant les trois axes, on a, pour les coordonnées de la molécule à un instant t, les formules :

$$\left.\begin{aligned} z &= \alpha \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \\ y &= \alpha' \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi'}{T}\right) \\ x &= \alpha'' \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi''}{\lambda}\right) \end{aligned}\right\} (1).$$

En donnant à t des valeurs arbitraires, on peut déduire de ces formules les coordonnées de la molécule vibrante à chaque instant.

Mais si on élimine t entre ces mêmes formules, on obtient des relations entre les coordonnées de toutes les positions de la molécule, c'est-à-dire leur lieu géométrique.

$$\text{Soit } \varphi' = \varphi + \omega$$
$$\varphi'' = \varphi + \omega',$$

on a :

$$z = \alpha \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right)$$

$$y = \alpha' \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \cos \frac{2\pi\omega}{\lambda}$$

$$+ \alpha' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \sin \frac{2\pi\omega}{\lambda}$$

$$x = \alpha'' \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda}$$

$$+ \alpha'' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \sin \frac{2\pi\omega'}{\lambda}.$$

En observant que : $\cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) = \frac{z}{\alpha}$,

$\sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) = \pm \sqrt{1 - \frac{z^2}{\alpha^2}}$, et faisant disparaître les radicaux, on trouve :

$$\frac{y^2}{\alpha'^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} - \frac{2yz}{\alpha\alpha'}, \cos \frac{2\pi\omega}{\lambda} = \sin^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda} \quad (2)$$

$$\frac{x^2}{\alpha''^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} - \frac{2xz}{\alpha\alpha'}, \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda} = \sin^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda} \quad (3)$$

ou bien

$$\frac{y^2}{\alpha'^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} - \frac{2yz}{\alpha\alpha'} \cos \frac{2\pi(\varphi' - \varphi)}{\lambda} = \sin^2 \frac{2\pi(\varphi' - \varphi)}{\lambda}$$

$$\frac{x^2}{\alpha''^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} - \frac{2xz}{\alpha\alpha''} \cos \frac{2\pi(\varphi'' - \varphi)}{\lambda} = \sin^2 \frac{2\pi(\varphi'' - \varphi}{\lambda}$$

ω et ω', ou les différences des phases sont constantes pour une même molécule.

Posons $\cos \frac{2\pi\omega}{\lambda} = m$, $\cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda} = n$

$$\sin^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda} = m', \; \sin^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda} = n'$$

et les équations (2) et (3) deviennent :

$$\frac{y^2}{\alpha'^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} - \frac{2yz}{\alpha\alpha'} m = m' \quad (2')$$

$$\frac{x^2}{\alpha''^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} - \frac{2xz}{\alpha\alpha''} n = n' \quad (3').$$

II.

Discussion de la courbure de la trajectoire.

Les équations (2′), (3′) représentent deux cylindres respectivement perpendiculaires aux plans des xz et des yz. Les ellipses qui servent de bases ont l'origine pour centre commun.

L'intersection de ces deux cylindres est la courbe en question.

Deux cylindres quelconques peuvent se couper suivant une courbe non interrompue et à double courbure ; il y a alors arrachement. Ce cas ne peut arriver ici, parce que les bases des deux cylindres sont des ellipses ayant l'origine pour centre commun, et que, par suite, leurs axes se coupent en ce point. S'il n'y a pas arrachement, les cylindres se couperont suivant deux courbes qui peuvent être ou *planes à la fois*, ou *chacune à double courbure.*

Pour déterminer le genre de courbure on pourrait appliquer par l'analyse le moyen qui sert de vérification en géométrie descriptive, et qui consiste à construire un cône ayant pour sommet un point de la courbe et pour directrice la courbe même. Si ce cône se réduit à un plan ou à deux, la courbe est plane. Ce moyen conduit à des résultats compliqués.

J'emploirai la méthode suivante :

Après avoir cherché l'équation d'un cône ayant l'origine comme sommet et les courbes d'intersection pour directrices, je démontrerai que ce cône se réduit à un système de deux plans.

Ce mode de démonstration m'a été fourni par la considération que les axes des deux cylindres se rencontrent à l'origine et que par conséquent, si l'intersection est comprise dans deux plans, ces plans doivent passer par l'origine.

Les équations d'une génératrice quelconque sont :

$$x = pz \quad (a)$$

$$y = qz \quad (b)$$

Éliminant x, y, z entre (a), (b), (2′), (3′), on a

$$\frac{n'q^2}{\alpha'^2} + \frac{n'}{\alpha'^2} - \frac{2mn'q}{\alpha\alpha'} = \frac{m'p^2}{\alpha'^2} + \frac{m'}{\alpha^2} - \frac{mn}{\alpha\alpha''}.$$

Remplaçant p et q respectivement par $\frac{x}{z}$ et $\frac{y}{z}$, il vient :

$$\frac{n'-m'}{\alpha^2} z^2 + \frac{n'}{\alpha'^2} y^2 - \frac{m'}{\alpha''^2} x^2 - \frac{2mn'}{\alpha\alpha'} yz + \frac{2m'n}{\alpha\alpha''} xz = 0 \ (4).$$

Si l'intersection d'un plan quelconque, non passant par le sommet, avec ce cône est un système de deux droites, le cône se réduit à un système de deux plans.

Coupons par un plan $z = c = kx$, et nous avons pour la projection de l'intersection sur le plan des xy :

$$\frac{n'}{\alpha'^2} y^2 - \frac{m'}{\alpha''^2} x^2 - \frac{2mn'k}{\alpha'} y + \frac{2m'nk}{\alpha''} x = (m'-n')k^2.$$

Or, pour que l'équation :

$$Ay^2 - Bx^2 - Cy + Dx = F$$

ou bien

$$y = \frac{C}{2A} \pm \sqrt{4ABx^2 - 4ADx + (4AF + C^2)}$$

représente deux droites, il faut que la quantité sous le radical soit un carré parfait quel que soit x, ce qui exige que :

$$AD^2 - B(4AF + C^2) = 0$$

ou, dans le cas actuel,

$$\frac{m'^2 n^2 n'^2}{\alpha'^2 \alpha''^2} k^2 - \frac{m'}{\alpha''} \left\{ \frac{n'}{\alpha'^2}(m'-n') + \frac{m^2 n'^2}{\alpha'^2} \right\} k^2 = 0$$

ce qui donne après avoir divisé par

$$\frac{m'n'k^2}{\alpha'^2 \alpha''^2},$$

$$m'(1-n^2) - n'(1-m^2) = 0.$$

Remplaçons m, m', n, n' par leurs valeurs, et il vient :

$$\sin^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda} \left(1 - \cos^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda}\right) - \sin^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda} \left(1 - \cos^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda}\right) = 0$$

ou

$$\sin^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda} \sin^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda} - \sin^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda} \sin^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda} = 0 \quad (5).$$

Cette équation est une identité et elle est par conséquent toujours satisfaite.

Donc l'*équation* (4) *représente un système de deux plans.*

L'équation (5) étant indépendante de α, α', α'' et toujours satisfaite quel que soit ω, ω' ou la différence des phases, j'en conclus que :

Quelles que soient les longueurs des excursions parallèlement aux trois axes, et quelles que soient les différences des phases, la trajectoire de la molécule d'éther ne peut jamais être à double courbure.

III.

Équations de ces plans.

Ce qui précède serait déjà suffisant pour montrer que la courbe est plane ; mais il est utile de connaître les équations des plans renfermés dans l'équation (4).

Pour y arriver on pourrait multiplier les équations de deux plans passant par l'origine.

$$z + ax + by = 0$$

$$z + a'x + b'y = 0$$

et identifier les coefficients respectifs du produit aux coefficients de l'équation (4). qu'on aurait soin de diviser préalablement par le coefficient de z^2. De ces équations on déduirait a, b, a', b'.

Mais pour éviter ces calculs, j'emploirai un autre moyen, qui en même temps servira de vérification pour les résultats obtenus jusqu'à présent.

En coupant les cylindres par un plan $z = kx$, on obtient pour projections des intersections sur le plan des xy,

$$y = \alpha' mk \pm \alpha' \sqrt{m'(1 - k^2)}$$

$$x = \alpha'' nk \pm \alpha'' \sqrt{n'(1 - k^2)}$$

Ces équations, considérées simultanément, représentent les projections, sur le plan des xy, des 4 points d'intersection du plan avec les 2 courbes.

Pour toute valeur de k comprise entre -1 et $+1$, ces valeurs sont réelles.

Pour $k=1$ les 4 points coïncident en un seul, qui est le point de rencontre des deux courbes. Il en est de même pour $k=-1$.

Désignons ces deux derniers points par X, X′, leurs coordonnées sont :

$$\mathrm{X}\left\{\begin{array}{l} z=\alpha \\ y=\alpha' m \\ x=\alpha'' n \end{array}\right. \qquad \mathrm{X}'\left\{\begin{array}{l} z=-\alpha \\ y=-\alpha \\ x=-\alpha'' n \end{array}\right.$$

Tout plan mené à une hauteur telle que $k>1$ ou $z>\alpha$, ne coupera plus les courbes. La raison en est que dans l'équation $z=\alpha\cos 2\pi\left(\frac{t}{\mathrm{T}}-\frac{\phi}{\lambda}\right)\alpha$ exprime la plus grande excursion parallèlement à l'axe des z.

Le cylindre représenté par l'équation (2′) coupe le plan des xy suivant deux droites $y=\pm\alpha'\sqrt{m'}$, parallèles à l'axe des x.

Le cylindre (3′) coupe le même plan suivant deux droites

$$x=\pm\alpha\sqrt{n'}$$

parallèles à l'axe des y.

Ces 4 droites se coupent en quatre points et forment un rectangle dont les diagonales se coupent à l'origine. Soient B et D deux points opposés de ce rectangle, ils seront situés dans le plan de l'une des courbes, passant par B, X et D. Cherchons ce plan.

Coordonnées de B :

$$z'=0,\ y'=\alpha'\sqrt{m'},\ x'=\alpha''\sqrt{n'}.$$

Coordonnées de D :

$$z'=0\ \ y'-\alpha'\sqrt{m'},\ \ x'=-\alpha''\sqrt{n'},$$

Plan quelconque passant par l'origine :

$$\mathrm{M}x+\mathrm{N}y+z=0.$$

Conditions de passer par B, D et X :

$$M\alpha''\sqrt{n'} + N\alpha'\sqrt{m'} = 0$$

$$M\alpha'' n + N\alpha' m + \alpha = 0.$$

D'où

$$M = \frac{\alpha'\sqrt{m'}}{\alpha'(m\sqrt{n'} - n\sqrt{m'})}$$

$$N = -\frac{\alpha\sqrt{n'}}{\alpha''(m\sqrt{n'} - n\sqrt{m'})}$$

Donc l'équation du plan BDX est

$$\frac{\sqrt{m'}}{\alpha''}x - \frac{\sqrt{n'}}{\alpha'}y + \frac{m\sqrt{n'} - n\sqrt{m'}}{\alpha}z = 0 \quad (6).$$

En procédant de la même manière on trouverait pour le plan ACX, A et C étant les deux autres sommets du rectangle, l'équation :

$$\frac{\sqrt{m'}}{\alpha''}x + \frac{\sqrt{n'}}{\alpha'}y - \frac{m\sqrt{n'} + n\sqrt{m'}}{\alpha}z = 0 \quad (7).$$

En multipliant (6) et (7), et remarquant que :

$$m^2 n' - n^2 m' = m^2(1 - n^2) - n^2(1 - m^2) = m^2 - n^2$$
$$= (1 - n^2) - (1 - m^2) = n' - m',$$

on obtient l'équation (4).

Substituons au lieu de m, m', n, n' leurs valeurs, et les équations (6) et (7) deviennent

$$\frac{x}{\alpha''}\sin\frac{2\pi\omega}{\lambda} - \frac{y}{\alpha'}\sin\frac{2\pi\omega'}{\lambda} - \frac{z}{\alpha}\sin\frac{2\pi(\omega - \omega')}{\lambda} = 0 \quad (6')$$

$$\frac{x}{\alpha''}\sin\frac{2\pi\omega}{\lambda} + \frac{y}{\alpha'}\sin\frac{2\pi\omega'}{\lambda} - \frac{z}{\alpha}\sin\frac{2\pi(\omega - \omega')}{\lambda} = 0 \quad (7').$$

On a pour les angles de ces plans avec les plans coordonnés :

$$\cos(P\cdot xy) = \mp \frac{\alpha'\alpha'' \sin \dfrac{2\pi(\omega\mp\omega')}{\lambda}}{\sqrt{\alpha^2\alpha'^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega}{\lambda} + \alpha^2\alpha''^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega'}{\lambda} + \alpha'^2\alpha''^2 \sin^2 \dfrac{2\pi(\omega-\omega')}{\lambda}}}$$

$$\cos(P\cdot xz) = \pm \frac{\alpha\alpha' \sin \dfrac{2\pi\omega}{\lambda}}{\sqrt{\alpha^2\alpha'^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega}{\lambda} + \alpha^2\alpha''^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega'}{\lambda} + \alpha'^2\alpha'^2 \sin^2 \dfrac{2\pi(\omega-\omega')}{\lambda}}}$$

$$\cos(P\cdot yz) = \mp \frac{\alpha\alpha'' \sin \dfrac{2\pi\omega'}{\lambda}}{\sqrt{\alpha^2\alpha'^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega}{\lambda} + \alpha^2\alpha''^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega'}{\lambda} + \alpha'^2\alpha''^2 \sin^2 \dfrac{2\pi(\omega-\omega')}{\lambda}}}.$$

IV.

Détermination du plan dans lequel s'opère le mouvement effectif.

Comme la molécule d'éther ne peut se mouvoir à la fois dans deux plans différents, il s'agit de savoir lequel des deux plans contient la trajectoire.

Pour résoudre cette question, je me base sur la considération que le plan osculateur d'une courbe plane est le plan de la courbe même.

Si je résolvais les équations (2), (3), j'aurais

$$y = \varphi z$$
$$x = \psi z$$

φ et ψ étant des fonctions qui contiennent des radicaux avec le double signe $\pm$.

Les différentielles dx, dy seraient aussi de double signe et en substituant ces valeurs dans l'équation générale du plan osculateur, j'obtiendrais les deux plans (6) et (7).

Si, au contraire, je remonte aux équations primitives (1), qui donnent la position de la molécule à chaque instant, et que je regarde t comme variable indépendante, j'obtiendrai dx, dy, dz, d^2x, d^2y, d^2z en fonction de t; le double signe disparaît et ces valeurs substituées dans l'équation générale du plan osculateur donneront l'équation du plan dans lequel s'opère le mouvement effectif.

Équation du plan osculateur :

$$(x-x')(dy'\,d^2z'-dz'\,d^2y')+(y-y')(dz'\,d^2x'-dx'\,d^2z')$$
$$+(z-z')(dx'\,d^2y'-dy'\,d^2x')=0 \quad (8)$$

On a :

$$dz=-\frac{2\pi}{T}\cdot\alpha\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{\varphi}{\lambda}\right)dt=-\frac{2\pi}{T}\,\alpha\sqrt{1-\frac{z^2}{\alpha^2}}\,dt$$

$$d^2z=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\alpha^2\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{\varphi}{\lambda}\right)dt^2=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 z\,dt^2$$

$$dy=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)\alpha'\left\{\sqrt{1-\frac{z^2}{\alpha^2}}\cos\frac{2\pi\omega}{\lambda}-\frac{z}{\alpha}\sin\frac{2\pi\omega}{\lambda}\right\}dt$$

$$d^2y=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\alpha'\left\{\frac{z}{\alpha}\cos\frac{2\pi\omega}{\lambda}+\sqrt{1-\frac{z^2}{\alpha^2}}\sin\frac{2\pi\omega}{\lambda}\right\}dt^2$$

$$dx=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)\alpha''\left\{\sqrt{1-\frac{z^2}{\alpha^2}}\cos\frac{2\pi\omega'}{\lambda}-\frac{z}{\alpha}\sin\frac{2\pi\omega'}{\lambda}\right\}dt$$

$$d^2x=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\alpha''\left\{\frac{z}{\alpha}\cos\frac{2\pi\omega'}{\lambda}+\sqrt{1-\frac{z^2}{\alpha^2}}\sin\frac{2\pi\omega'}{\lambda}\right\}dt^2.$$

Désignons par :

$$dx_\alpha,\ dy_\alpha,\ dz_\alpha,\ \text{etc.},$$

ce que deviennent :

$$dx,\ dy,\ dz,\ \text{etc.},$$

pour $z=\alpha$, il vient :

$$dz_\alpha=0$$

$$d^2z_\alpha=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\alpha\,dt^2$$

$$dy_\alpha=\frac{2\pi}{T}\,\alpha'\cos\frac{2\pi\omega}{\lambda}\,dt^2$$

$$d^2y_\alpha=-\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\alpha'\cos\frac{2\pi\omega}{\lambda}\,dt^2$$

$$dx_\alpha = \frac{2\pi}{T} \alpha'' \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda}\, dt$$

$$d^2x_\alpha = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \alpha'' \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda}\, dt^2$$

D'où :

$$dy_\alpha\, d^2z_\alpha - dz_\alpha\, d^2y_\alpha = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^3 \alpha\alpha' \sin \frac{2\pi\omega}{\lambda}\, dt^3$$

$$dz_\alpha\, d^2x_\alpha - dx_\alpha\, d^2z_\alpha = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^3 \alpha\alpha'' \sin \frac{2\pi\omega'}{\lambda}\, dt^3$$

$$dx_\alpha\, d^2y_\alpha - dy_\alpha\, d^2x_\alpha = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^3 \alpha'\alpha'' \sin \frac{2\pi(\omega - \omega')}{\lambda}$$

La substitution de ces valeurs dans (8) fournit :

$$-(x - \alpha'' m)\, \alpha\alpha' \sin \frac{2\pi\omega}{\lambda} + (y - \alpha' n)\, \alpha\alpha'' \sin \frac{2\pi\omega'}{\lambda}$$

$$+ (z - \alpha)\, \alpha\alpha'' \sin 2\pi\left(\frac{\omega - \omega'}{\lambda}\right) = 0\,,$$

ou bien en observant que le plan passe par l'origine, divisant par $\alpha\alpha'\alpha''$ et changeant les signes :

$$\frac{x}{\alpha''} \sin \frac{2\pi\omega}{\lambda} - \frac{y}{\alpha'} \sin \frac{2\pi\omega'}{\lambda} - \frac{z}{\alpha} \sin 2\pi\left(\frac{\omega - \omega'}{\lambda}\right) = 0\,,$$

équation qui coïncide avec (6').

V.

Équation de la trajectoire rapportée à deux axes rectangulaires choisis dans le plan de la courbe.

Soit ϕ l'angle de la trace du plan (6') avec l'axe des x, θ l'inclinaison du même plan sur celui des xy, en prenant cette trace pour axe des x' et une perpendiculaire à la trace dans le plan même et passant par l'origine pour axe des y', on a, comme cas particulier des formules d'Euler, les relations suivantes :

$$\left.\begin{aligned} x &= x' \cos\varphi + y' \sin\varphi \cos\theta \\ y &= x' \sin\varphi - y' \cos\varphi \cos\theta \\ z &= y' \sin\theta \end{aligned}\right\} (9).$$

Pour obtenir l'équation de la courbe rapportée à ces nouveaux axes, il faudra substituer les expressions (9) dans une équation provenant de la combinaison des équations (2'), (3').

Le résultat de la substitution de ces mêmes formules dans une seule des équations (2'), (3') ne serait pas exact, parce que à ces équations, on doit joindre respectivement les suivantes :

$$x = \tfrac{0}{0} \qquad y = \tfrac{0}{0} \quad (10)$$

tant que les deux cylindres subsistent isolément ; mais dans l'équation de la courbe d'intersection les coordonnées x et y deviennent respectivement variables dépendantes de z ; et les équations (10) deviennent illusoires.

En ajoutant (2) et (3) ce qui fournit une relation entre les 3 coordonnées de chaque point de la courbe et en introduisant les valeurs (9), on obtient l'équation suivante :

$$Ax'^2 + Bx'y' + Cy'^2 = D. \quad (11)$$

dans laquelle

$$A = \frac{\cos^2 \varphi}{\alpha''^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{\alpha'^2}$$

$$B = 2 \cos \varphi \sin \varphi \cos \theta \left\{ \frac{1}{\alpha''^2} - \frac{1}{\alpha'^2} \right\}$$

$$- \frac{2}{\alpha} \sin \theta \left\{ \frac{\cos \varphi \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda}}{\alpha''} + \frac{\sin \varphi \cos \frac{2\pi\omega}{\lambda}}{\alpha'} \right\}$$

$$C = \cos^2 \theta \left\{ \frac{\sin^2 \varphi}{\alpha''^2} + \frac{\cos^2 \varphi}{\alpha'^2} \right\} + \frac{2 \sin^2 \theta}{\alpha'^2}$$

$$+ \frac{2}{\alpha} \sin \theta \cos \theta \left\{ \frac{\cos \varphi \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda}}{\alpha'} - \frac{\sin \varphi \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda}}{\alpha''} \right\}$$

$$D = \sin^2 \frac{2\pi\omega}{\lambda} + \sin^2 \frac{2\pi\omega'}{\lambda}.$$

Dans ces formules on a :

$$\varphi = \text{arc}\left(\text{tang.}\ \frac{\alpha' \sin \dfrac{2\pi\omega}{\lambda}}{\alpha'' \sin \dfrac{2\pi\omega'}{\lambda}}\right) \quad (12)$$

$$\theta = \text{arc}\left\{\cos \mp \frac{\alpha'\alpha'' \sin \dfrac{2\pi(\omega-\omega')}{\lambda}}{\sqrt{\alpha^2\alpha'^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega}{\lambda} + \alpha^2\alpha'^2 \sin^2 \dfrac{2\pi\omega'}{\lambda} + \alpha'^2\alpha''^2 \sin^2 \dfrac{2\pi(\omega-\omega')}{\lambda}}}\right\} \quad (13).$$

VI.

Cas particuliers. — Polorisation circulaire.

1.

Supposons $\omega = \omega'$, alors on a en vertu de (12), (13)

$$\text{tang}\ \varphi = \frac{\alpha'}{\alpha''},\ \sin\varphi = \frac{\alpha'}{\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}},\ \cos\varphi = \frac{\alpha''}{\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}}$$

$$\cos\theta = 0,\ \theta = \frac{\pi}{2},\ \sin\theta = 1$$

$$A = \frac{2}{\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}},\ C = \frac{2}{\alpha'},$$

$$B = -\frac{4}{\alpha\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}} \cos\frac{2\pi\omega}{\lambda},$$

$$D = 2\sin^2\frac{2\pi\omega}{\lambda}$$

L'équation de ta trajectoire devient :

$$\frac{x'^2}{\alpha'^2 + \alpha''^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2} - \frac{2x'y'}{\alpha\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}} \cos\frac{2\pi\omega'}{\lambda} = \sin^2\frac{2\pi\omega'}{\lambda} \quad (14)$$

Coroll. I. Soit $\omega' = \dfrac{\lambda}{2}$ on a $\cos\dfrac{2\pi\omega}{\lambda} = -1$

$$\sin \frac{2\pi\omega}{\lambda} = 0. \qquad \text{D'où :}$$

$$\frac{x'^2}{\alpha'^2 + \alpha''^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2} + \frac{2x'y'}{\alpha\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}} = 0$$

$$\left(\frac{x}{\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}} + \frac{y}{\alpha}\right)^2 = 0$$

$$y = -\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}}\,x \qquad (15)$$

La trajectoire est une droite.

Remarquons qu'on aurait pu parvenir à la même conclusion en faisant $\omega = \frac{\lambda}{2}$, $\omega' = \frac{\lambda}{2}$ dans les équations (2) et (3), les cylindres se réduisent alors à deux plans.

Coroll. II. Faisons dans (14) $\omega' = \frac{3\lambda}{4}$,

$$\text{alors} \quad \cos \frac{2\pi\omega'}{\lambda} = \cos \frac{3}{2}\pi = 0$$

$$\sin \frac{2\pi\omega'}{\lambda} = \sin \frac{3}{2}\pi = -1$$

D'où

$$\frac{x'^2}{\alpha'^2 + \alpha''^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2} = 1. \quad (16)$$

Cette ellipse est rapportée à ses axes principaux qui sont l'un la longueur d'excursion parallèlement à l'axe des z, l'autre la diagonale du rectangle construit sur les deux autres excursions.

Pour $\alpha = \sqrt{\alpha'^2 + \alpha''^2}$ l'ellipse devient un cercle.

Coroll. III. (Polarisation circulaire.)

La molécule d'éther qui se trouve sur un rayon polarisé ne vibrant que suivant une direction perpendiculaire au plan de polorisation, la formule (14) représentera le résultat de la rencontre de deux rayons polarisés à angle droit et différant d'un quart d'ondulation, pourvu qu'on fasse $\omega' = \frac{\lambda}{4}$ et que l'excur-

sion de la molécule suivant l'ancien axe des y soit nulle, ou $\alpha' = 0$.

On a alors $\frac{x^2}{\alpha''^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2} = 1$.

Remarquons que, cos θ étant nul, l'axe des y' se confond avec celui des z, la formule précédente peut donc s'écrire

$$\frac{x^2}{\alpha''^2} + \frac{z^2}{\alpha^2} = 1. \quad (17)$$

Le mouvement est elliptique.

Si les intensités des deux rayons sont les mêmes, c'est-à-dire pour $\alpha'' = \alpha$, il vient

$$x^2 + z^2 = \alpha^2 \quad (18)$$

Telle est la formule de la polorisation circulaire.

2.

Autre manière de parvenir à la formule (18).

Soit $\omega = 0$, $\omega' = -\frac{\lambda}{4}$ on a

tang. $\varphi = 0$, cos $\varphi = 1$ sin $\varphi = 0$.

Ainsi le plan de la trajectoire passe par l'axe des x.

De plus

$$\cos\theta = -\frac{\alpha'}{\sqrt{\alpha^2 + \alpha'^2}}, \ \sin\theta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \alpha'^2}}$$

Ces valeurs introduites dans les coefficients de l'équation (11) donnent

$$A = \frac{1}{\alpha''^2}, \quad B = 0, \quad C = \frac{1}{\alpha^2 + \alpha'^2}. \quad D = 1.$$

Par suite l'équation de la trajectoire est

$$\frac{x'^2}{\alpha''^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2 + \alpha'^2} = 1 \quad (19)$$

C'est une ellipse rapportée à ses axes principaux qui sont l'un

l'amplitude parallèlement à l'axe des x, l'autre la diagonale du rectangle des amplitudes α et α'.

On voit que ce résultat est analogue avec l'équation (16). La raison de ceci est que l'équation (16) est fournie par la rencontre de 3 vibrations dont l'une parallèle à l'axe des z, est en avant d'un $^1/_4$ d'ondulation sur les 2 autres ; dans la courbe (19), c'est la vibration parallèle à l'axe des x qui est en avant d'un $^1/_4$ sur celle des y et des z.

Faisons dans (19) l'une ou l'autre des vibrations nulle, α' par exemple et il vient

$$\frac{x^2}{\alpha''^2} + \frac{y'^2}{\alpha^2} = 1$$

Si les intensités des deux rayons sont les mêmes, on a

$$x^2 + y'^2 = \alpha^2$$

et comme y' coïncide avec z, à cause de $\cos\,\theta = 0$, on a

$$x^2 + z^2 = \alpha^2$$

formule identique avec (18).

Corollaire. Si dans (19) on fait

$$\alpha'' = \sqrt{\alpha^2 + \alpha'^2}, \quad \text{on a}$$

$$x'^2 + y'^2 = \alpha''^2$$

c'est-à-dire la trajectoire est un cercle.

Remarque Les corollaires qui précèdent montrent qu'il y a des cas où la trajectoire d'un rayon non polarisé, ni produit par deux rayons polarisés, est un cercle.

Ici se présente la question :

Quelles sont les conditions d'intensités et de phases des 3 mouvements vibratoires, pour que la trajectoire au lieu d'être elliptique devienne circulaire.

Pour résoudre ce problème d'une manière générale il faudra dans l'équation (11) poser $B = 0$ $A = C$; remplaçant ensuite φ et θ par leurs valeurs, on obtient 2 équations, dans lesquelles figurent 5 constantes arbitraires :

$$\alpha,\ \alpha',\ \alpha'',\ \omega,\ \omega'.$$

En disposant arbitrairement de 3 de ces constantes, les équations

$$B = 0, \quad A = C,$$

détermineront les deux autres.

Remarque.

Le but de la recherche du plan osculateur était de reconnaître, dans lequel des plans, qui contiennent les courbes d'intersection des deux cylindres, s'opère ce mouvement effectif. Remarquons que ce résultat à lui seul, aurait prouvé que la courbe est plane et aurait en même temps déterminé son plan, par la raison que le plan osculateur reste le même, quel que soit t, c'est-à-dire quel que soit le point de la courbe.

J'ai successivement cependant préféré d'exposer toutes les considérations qui m'ont conduit à la solution de la question.

Remarquons, en outre, que cette méthode par le plan osculateur s'applique avec avantage dans toutes les questions de mécanique, où les coordonnées du point mobile sont données en fonction explicite du temps.

III. — *Intégrales définies. — Études faites à l'occasion de recherches sur les fonctions de Legendre et sur les fonctions de Lamé.*

1

ÉTUDE SUR UN MÉMOIRE DE JACOBI,

PAR

N. C. SCHMIT,

DOCTEUR EN SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES.

INTRODUCTION.

Le Mémoire de Jacobi, que je me propose d'étudier, a été terminé le 14 février 1846. Il se trouve dans le volume 32 du *Journal de Crelle* et aussi dans le premier volume des *œuvres de Jacobi*, sous le n° 13, page 339; il contient la valeur de l'intégrale définie

$$\int_0^{2\pi} \frac{\frac{\sin}{\cos}(i\varphi)\,d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$$

pour toutes les valeurs entières de i depuis $i = 0$.

L'illustre géomètre, qui a concouru avec Gauss à élever l'Allemagne septentrionale au rang qu'occupe la France dans les Sciences Mathématiques, a probablement été amené à faire cette recherche, en généralisant une intégrale définie qui sert de base à un de ses travaux les plus remarquables, publié trois ans auparavant dans le volume 26 du *Journal de Crelle*. Là, en effet, pour retrouver d'une manière élégante et rapide les profonds résultats de Legendre et de Laplace sur la forme des fonctions sphériques, (1) il s'appuie sur la formule

(1) Legendre. — *Savants étrangers de l'académie de Paris* vol. X, Attraction des Sphéroïdes homogènes. (Imprimé en 1785.) — *Académie des sciences pour*

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{A + iB\cos\varphi + iC\sin\varphi} = \frac{2\pi}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

qui n'est qu'un cas particulier de celle qui fait l'objet de ce mémoire.

Je nomme *Fonctions sphériques* ce que les allemands appellent *Kugelfunctionen*, les français très-souvent *Fonctions* X_n, Y_n, *Fonctions de Legendre* du nom de celui qui les introduisit le premier dans l'analyse, *Fonctions de Laplace* parce que cet illustre géomètre en a non seulement trouvé des propriétés importantes, mais encore parce qu'il en a fait un fréquent usage dans ses admirables recherches sur la forme des planètes, sur les marées, sur la rotation des corps célestes autour de leur centre de gravité.

Je ne parlerai ici qu'incidemment de ces fonctions qui ont été de ma part l'objet d'études particulières et sur lesquelles je ne tarderai pas à publier un mémoire spécial.

Jacobi a publié de nouveau dans un journal Italien, en laissant de côté quelques détails, le mémoire sur les fonctions sphériques, que j'ai rappelé; en 1845, Monsieur Liouville inséra ce dernier travail dans le tome X de son *Journal de Mathématiques*; je ne crois donc pas sans intérêt l'étude d'un mémoire qui le complète.

Toutefois il est des moyens simples et élégants de trouver immédiatement l'intégrale dont s'est servi Jacobi, sans recourir à l'intégrale qu'il a étudiée plus tard. Je reproduirai celui que Monsieur Lejeune-Dirichlet a développé dans son cours en été 1856, à l'Université de Göttingen.

Lemme. $\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi\cos\varphi} = \pm \frac{1}{\sqrt{l^2 + m^2}}$ où $i = \sqrt{-1}$

1789, Mémoire sur la figure des planètes (lu le 28 août 1790 et imprimé en 1793.) *Exercices de calcul intégral.* Vol. 2.

Laplace. — *Académie des sciences pour* 1782. — *Traité de mécanique céleste*, 1799, 2[e] volume.

Démonstration. — Il est évident que :

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi\cos\varphi} = \int_0^{2\pi} \frac{\pm l\,d\varphi}{l^2 + m^2\cos\varphi^2} - \int_0^{2\pi} \frac{mi\cos\varphi\,d\varphi}{l^2 + m^2\cos\varphi^2}$$

La seconde intégrale du second membre est nulle parce que ses éléments passent par des valeurs égales et de signes contraires.

La première intégrale a successivement pour valeurs :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\pm l\,d\varphi}{l^2 + m^2\cos\varphi^2} = 4\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\pm l\,d\varphi}{l^2 + m^2\cos\varphi^2}$$

$$= 4\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\pm l\,d\varphi}{(l^2 + m^2)\cos\varphi^2 + l^2\sin\varphi^2} = \pm\frac{2\pi}{\sqrt{l^2 + m^2}}$$

Car on sait que :

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{A^2\cos\varphi^2 + B^2\sin\varphi^2} = \frac{1}{A\cdot B}\cdot\frac{\pi}{2}.$$

On adopte le signe (+) lorsque l est positif, le signe (—) lorsque l est négatif. On a donc ainsi :

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi\cos\varphi} = \pm\frac{1}{\sqrt{l^2 + m^2}}$$

Théorème. $$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + ni\cos\varphi + pi\sin\varphi} = \pm\frac{1}{\sqrt{l^2 + n^2 + p^2}}$$

De ce que : $\displaystyle\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{l + mi\cos\varphi} = \int_{+\delta}^{2\pi+\delta} \frac{d\varphi}{l + mi\cos\varphi} = \int_{-\delta}^{2\pi-\delta} \frac{d\varphi}{l + mi\cos\varphi}$

il suit que l'on a :

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi\cos\varphi} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi\cos(\varphi + \delta)}$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi(\cos\varphi\cos\delta - \sin\varphi\sin\delta)}$$

Ou

$$\pm\frac{1}{\sqrt{l^2 + m^2}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + i(m\cos\delta)\cos\varphi + i(-m\sin\delta)\sin\varphi}$$

Si l'on fait $\left.\begin{aligned} m\cos\delta &= n \\ -m\sin\delta &= p \end{aligned}\right\}$ d'où $m^2 = n^2 + p^2$

on obtient l'égalité qu'il fallait démontrer.

J'ai reproduit cette démonstration de Monsieur Lejeune-Dirichlet, parce que j'ai quelque raison de croire que c'est celle même sur laquelle Jacobi se fondait, avant les travaux que j'étudie aujourd'hui, car je ferai remarquer que considérer l'intégrale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{l + ni\cos\varphi + pi\sin\varphi}$$

comme dérivant de l'intégrale plus particulière

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{l + mi\cos\varphi},$$

fait surgir la pensée de chercher des propriétés pour la première analogues à celles existant déjà pour la seconde, mais aussi réciproquement, si l'on expose des propriétés de la première intégrale analogues à des propriétés connues de la seconde, au moyen de procédés identiques, on est amené à croire que, pour trouver cette première intégrale, on s'est aussi servi de la seconde.

Je vais faire voir que c'est ce qui a eu lieu, et que le Mémoire de Jacobi *étend à la première intégrale une propriété connue de la seconde par des procédés identiques.*

Théorème. — La formule $\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\pm l + mi\cos\varphi} = \pm \frac{2\pi}{\sqrt{l^2+m^2}}$

peut servir à établir la formule de Laplace (1) :

$$P_n(\cos\gamma) = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (\cos\gamma - \sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1})^n\, d\varphi$$

Où $P_n(\cos\gamma)$, *suivant la notation de M. Lejeune-Dirichlet, désigne le coëfficient de* α^n *dans le développement, suivant les puissances de* α, *de*

$$\frac{1}{\sqrt{1-2\alpha\cos\gamma+\alpha^2}}.$$

Démonstration. Si l'on pose $\begin{cases} l = 1 - \alpha\cos\gamma \\ m = \alpha\sin\gamma \end{cases}$

il vient :

$$\sqrt{l^2+m^2} = \sqrt{1-2\alpha\cos\gamma+\alpha^2}$$

(1) Tome V. Livre XI des *œuvres de Laplace.* (Page 59). (Edition du Gouvernement.) Cette formule sert à trouver la valeur que doit prendre $P_n(\cos\gamma)$ pour n très-grand. Il est une manière simple d'arriver à cette valeur que je ne tarderai pas à publier. $P_n(\cos\gamma)$ est comme on sait un cas particulier des fonctions sphériques.

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{d\varphi}{1-\alpha\cos\gamma+\alpha\sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1}}=\frac{1}{\sqrt{1-2\alpha\cos\gamma+\alpha^2}}.$$

Le coëfficient de $d\varphi$ ou $\dfrac{1}{1-\alpha\left(\cos\gamma-\sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1}\right)}$ peut se développer suivant les puissances de α de la manière suivante :

$$1+\alpha\left(\cos\gamma-\sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1}\right)+\alpha^2\left(\cos\gamma-\sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1}\right)^2+$$
$+$ etc....

Le premier membre peut ainsi se mettre sous la forme :

$$\sum\alpha^n\cdot\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(\cos\gamma-\sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1}\right)^n d\varphi\ ,$$

et le second membre est égal à

$$\sum\alpha^n P_n(\cos\gamma)\ ,$$

il faut donc, puisque ces deux développements coexistent pour des valeurs quelconques de α, que

$$P_n(\cos\gamma)=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(\cos\gamma-\sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1}\right)^n d\varphi.$$

$$\text{Ainsi}\int_0^{2\pi}\frac{d\varphi}{\pm l+m\,i\cos\varphi}=\pm\frac{1}{\sqrt{l^2+m^2}}$$

permet de trouver une forme de $P_n(\cos\gamma)$, qui a dévoilé une propriété nouvelle, parce que $\dfrac{1}{\sqrt{1-2\alpha\cos\gamma+\alpha^2}}$ peut se mettre sous la forme $\dfrac{1}{\sqrt{l^2+m^2}}$. On entre nécessairement dans

une propriété plus intime de $P_n(\cos\gamma)$ en remplaçant $\cos\gamma$ par sa valeur :

$$\cos\beta\cos\beta' + \sin\beta\sin\beta'\cos(\theta-\theta').$$

Le radical $\dfrac{1}{\sqrt{1-2\alpha\cos\gamma+\alpha^2}}$ prend aisément la forme $\dfrac{1}{\sqrt{l^2+n^2+p^2}}$ analogue à $\dfrac{1}{\sqrt{l^2+m^2}}$ en posant :

$$l = \cos\beta - \alpha\cos\beta'$$

$$n = \sin\beta\cos\theta - \alpha\sin\beta'\cos\theta'$$

$$p = \sin\beta\sin\theta - \alpha\sin\beta'\sin\theta'.$$

S'il existait une intégrale définie analogue aussi à $\displaystyle\int_0^{2\pi}\frac{d\varphi}{l+mi\cos\varphi}$ et égale à ce radical, on formerait une nouvelle valeur de $P_n(\cos\gamma)$ en répétant les raisonnements précédents.

Or cette intégrale existe, elle est :

$$\int_0^{2\pi}\frac{d\varphi}{\pm l+ni\cos\varphi+pi\sin\varphi} = \pm\frac{1}{\sqrt{l^2+n^2+p^2}}.$$

En remplaçant l, n, p par leurs valeurs respectives, Jacobi obtient :

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{d\varphi}{[\cos\beta+i\sin\beta\cos(\theta-\varphi)]-\alpha[\cos\beta'+i\sin\beta'\cos(\theta'-\varphi)]}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1-2\alpha\cos\gamma+\alpha^2}},$$

puis par un procédé identique à celui que nous venons d'indiquer il arrive à :

$$P_n(\cos\gamma) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{[\cos\beta'+i\sin\beta'\cos(\theta'-\varphi)]^n}{[\cos\beta+i\sin\beta\cos(\theta-\varphi)]^{n+1}}\,d\varphi.$$

Formule tout-à-fait analogue à celle de Laplace, mais plus générale, puisqu'elle considère $\cos\gamma$ non pas comme une quantité seulement, mais comme une fonction de deux angles, et plus profonde, puisqu'elle permet d'entrer dans la nature intime de $P_n(\cos\gamma)$ et de séparer, comme il est facile de le prévoir, ce qui est dépendant de l'angle β de ce qui est dépendant de l'angle β'.

C'est sur cette formule que Jacobi se base pour arriver à la formule si remarquable, donnée d'abord par Laplace, (1)

$$P_n(\cos\gamma) = P_n(\cos\beta)\, P_n(\cos\beta') +$$

$$+ 2\,\frac{(n-1)!}{(n+1)!}\sin\beta\sin\beta'\,\frac{d.\,P_n(\cos\beta)}{d\cdot\cos\beta}\cdot\frac{d\cdot P_n(\cos\beta')}{d\cdot\cos\beta'}\cos(\theta-\theta')$$

$$+ 2\,\frac{(n-2)!}{(n+2)!}\sin\beta^2\sin\beta'^2\,\frac{d^2\cdot P_n(\cos\beta)}{(d\cdot\cos\beta)^2}\cdot\frac{d^2\cdot P_n(\cos\beta')}{(d\cdot\cos\beta')^2}\cos 2(\theta-\theta')$$

$+$ etc. . . .

Ainsi, pour me résumer, je crois pouvoir considérer la démonstration rapportée par M. Lejeune-Dirichlet comme étant celle dont s'est servi Jacobi, parce que de

$$\int_0^{2\pi}\frac{d\varphi}{l + mi\cos\varphi} = \frac{1}{\sqrt{l^2+m^2}}$$

on déduit $P_n(\cos\gamma) = \dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi}(\cos\gamma - \sin\gamma\cos\varphi\sqrt{-1})^n\,d\varphi$,

(1) Legendre a cependant avant Laplace, trouvé une partie de cette formule dans un Mémoire sur l'attraction des Sphéroïdes. (*Sav. étr.* vol X.)
Il a posé :

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}P_n(\cos\gamma)\,d\theta = P_n(\cos\beta).\ P_n(\cos\beta').$$

et de

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{l + ni\cos\varphi + pi\sin\varphi} = \frac{1}{\sqrt{l^2 + n^2 + p^2}}$$

il a déduit $P_n(\cos\gamma) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{[\cos\beta' + \sqrt{-1}\sin\beta'\cos(\theta' - \varphi)]^n}{[\cos\beta + \sqrt{-1}\sin\beta\cos(\theta - \varphi)]^{n+1}} d\varphi$

d'une manière complètement identique.

Dans cette traduction, bien que je me sois efforcé de respecter la forme, je me suis surtout attaché à rendre le fond.

Dans des notes rejetées à la fin de ce travail, on trouvera quelques développements de calcul et quelques remarques qui cherchent à pénétrer dans la pensée de l'auteur et à comprendre sa marche, qui, vers la fin du Mémoire, retrace bien plus la suite des idées dans leur plus rapide expression que le développement systématique du fond. Le Mémoire est un chef-d'œuvre de style serré et clair.

C'est à dessein que je commence ma carrière scientifique non pas par un travail personnel, mais par une étude des œuvres d'un grand maître de la science ; c'est par la méditation de leurs ouvrages, que l'on peut se familiariser avec les méthodes qui ont fourni à la science leurs plus beaux résultats. Il faut recourir aux sources, il faut s'exercer à y puiser, et y puiser souvent. En France et en Allemagne on est surtout pénétré de cette vérité, aussi ces deux pays comptent-ils des savants nombreux et distingués, presque tous sont aussi profonds penseurs qu'érudits infatigables. Qui ne connaît l'érudition de Messieurs Châsles, l'auteur de l'histoire de l'arithmétique, de l'algèbre, de la géométrie, Liouville, Bertrand, Biot, de Humbold, Ritter, etc...

SUR
LA VALEUR QUE PREND L'INTÉGRALE DÉFINIE

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$$

POUR DES VALEURS IMAGINAIRES DE A ET DE B,

Par C. G. J. JACOBI.

Dans ce Mémoire je veux rechercher la valeur que prend l'intégrale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi},$$

lorsque les constantes A et B reçoivent des valeurs quelconques imaginaires; j'écarterai toutefois celles qui rendraient infinie la quantité sous le signe intégral pour des valeurs réelles de φ.

Lorsque les constantes A et B sont réelles, la condition pour que la quantité sous le signe intégral ne devienne infinie pour aucune valeur de φ est évidemment $A^2 + B^2 < 1$; mais si l'on écarte cette hypothèse, et que l'on pose :

$$A = a + a'\sqrt{-1} \qquad\qquad B = b + b'\sqrt{-1},$$

a, a', b, b' étant des quantités réelles, et a' et b' ne disparaissant pas en même temps, la quantité sous le signe radical, ne peut devenir infinie, ou

$$1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi$$

ne peut devenir nulle que lorsque, pour des valeurs réelles de φ, on a simultanément les équations :

$$a\cos\varphi + b\sin\varphi = 1$$
$$a'\cos\varphi + b'\sin\varphi = 0;$$

leur résolution algébrique fournit les relations :

$$\cos\varphi = \frac{b'}{ab' - a'b} \qquad \sin\varphi = \frac{-a'}{ab' - a'b},$$

leur coexistence exige l'égalité :

$$ab' - a'b = \sqrt{a'^2 + b'^2}.$$

C'est donc là la condition pour que la quantité sous le signe intégral puisse devenir infinie. Elle peut se mettre aussi sous la forme :

$$aa' + bb' = \sqrt{a'^2 + b'^2}\ \sqrt{a^2 + b^2 - 1}.$$

Si donc j'écarte le cas où cette relation existe entre les constantes a, a', b, b', ainsi qu'il est nécessaire de le faire pour que l'intégrale ne devienne pas infinie ou indéterminée (1), la grandeur absolue de $ab' - a'b$ sera ou plus grande ou plus petite que $\sqrt{a'^2 + b'^2}$.

Dans ce qui suit nous adopterons la notation $\Delta = ab' - a'b$, et nous supposerons Δ *positif*, comme il est permis de le faire. Car si Δ n'était pas positif, il suffirait de changer φ en $2\pi - \varphi$, les limites de l'intégrale resteraient les mêmes, a et a' garderaient leurs signes, tandis que b et b' changeraient les leurs, ce qui rendrait positif celui de Δ.

Je commence par poser l'équation identique

$$\frac{1}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= \frac{1}{n - n'\sqrt{-1}}\left\{\frac{1}{1 - \mathrm{C}e^{\varphi\sqrt{-1}}} + \frac{1}{1 - \mathrm{C}'e^{-\varphi\sqrt{-1}}} - 1\right\}$$

où

$$n - n'\sqrt{-1} = \sqrt{1 - \mathrm{A}^2 - \mathrm{B}^2}$$

$$= \sqrt{1 - (a + a'\sqrt{-1})^2 - (b + b'\sqrt{-1})^2}$$

(1) Voir Note 1.

$$C = \frac{(a+b')+(a'-b)\sqrt{-1}}{1+n-n'\sqrt{-1}} = \frac{A-B\sqrt{-1}}{1+\sqrt{1-A^2-B^2}}$$

$$C' = \frac{(a-b')+(a'+b)\sqrt{-1}}{1+n-n'\sqrt{-1}} = \frac{A+B\sqrt{-1}}{1+\sqrt{1-A^2-B^2}},$$

le signe du radical exprimant la valeur de $n-n'\sqrt{-1}$ est quelconque ; j'admettrai qu'il est choisi de manière à ce que la quantité réelle *n ait une valeur positive.*

Avant d'aller plus loin, il est indispensable de rechercher *si les modules de C et de C' sont plus grands ou plus petits que l'unité.* Cette expression de module est prise dans la même acception que celle adoptée par Cauchy.

Pour cela, je remarque d'abord que le module de

$$C\,C' = \frac{1-n+n'\sqrt{-1}}{1+n-n'\sqrt{-1}},$$

égal au produit des modules de C et de C'

$$\sqrt{\frac{(1-n)^2+n'^2}{(1+n)^2+n'^2}},$$

a une valeur moindre que un, parce que n par hypothèse est positif ; les modules de C et de C' ne peuvent donc être *tous les deux à la fois* plus grands que l'unité, le plus petit des deux doit être plus petit que l'unité.

Or les quantités C et C' ont respectivement pour modules

$$\sqrt{\frac{a^2+a'^2+b^2+b'^2+2\,\Delta}{(1+n)^2+n'^2}}$$

$$\sqrt{\frac{a^2+a'^2+b^2+b'^2-2\,\Delta}{(1+n)^2+n'^2}},$$

et Δ par hypothèse est positif, le module de C' sera donc moindre que celui de C, et *partant plus petit que un.*

Il nous reste encore à savoir quand le module de C est plus grand et quand il est plus petit que l'unité. On en trouve dans les considérations suivantes un critérium bien simple.

Le produit du carré des modules des quantités C, C' est :

$$\frac{(a^2+a'^2+b^2+b'^2)^2-4\Delta^2}{(1+n^2+n'^2+2n)^2}=\frac{1+n^2+n'^2-2n}{1+n^2+n'^2+2n}$$

d'où résulte l'équation

$$(a^2+a'^2+b^2+b'^2)^2-4\Delta^2=(1+n^2+n'^2)^2-4n^2;$$

Elle montre que suivant que Δ est plus grand ou plus petit que n, $a^2+a'^2+b^2+b'^2$ sera plus grand ou plus petit que $1+n^2+n'^2$ et à fortiori $a^2+a'^2+b^2+b'^2+2\Delta$ plus grand ou plus petit que $1+n^2+n'^2+2n$.

Donc le module de C ou $\sqrt{\dfrac{a^2+a'^2+b^2+b'^2+2\Delta}{(1+n)^2+n'^2}}$ *sera plus grand ou plus petit que l'unité suivant que* Δ *sera plus grand ou plus petit que* n. Or nous avons trouvé précédemment $(n-n'\sqrt{-1})^2=1-(a+a'\sqrt{-1})^2-(b+b'\sqrt{-1})^2$, les quantités n et n' se détermineront par les équations :

$$n^2-n'^2=1-a^2+a'^2-b^2+b'^2$$

$$nn'=aa'+bb';$$

au moyen de ces deux relations :

$$\begin{aligned}(\Delta^2+n'^2)(\Delta^2-n^2)&=\Delta^4+(n'^2-n^2)\Delta^2-n^2n'^2\\&=\Delta^4+\Delta^2(a^2+b^2-a'^2-b'^2)-(aa'+bb')^2-\Delta^2\\&=\Delta^4+\Delta^2(a^2+b^2-a'^2-b'^2)-(a^2+b^2)(a'^2+b'^2)\\&=(\Delta^2+a^2+b^2)(\Delta^2-a'^2-b'^2).\end{aligned}$$

Cette dernière équation nous montre que si Δ est plus grand ou plus petit que n, Δ sera aussi plus grand ou plus petit que $\sqrt{a'^2+b'^2}$. Le critérium peut donc s'énoncer ainsi : *Le module de C est plus grand ou plus petit que l'unité suivant que* Δ *est plus grand ou plus petit que* $\sqrt{a'^2+b'^2}$. Nous nous rappellerons que nous avons écarté le cas où $\Delta=\sqrt{a'^2+b'^2}$.

De ce que le module de C′ est toujours moindre que l'unité, on aura toujours :

$$\frac{1}{1 - C' e^{-\varphi\sqrt{-1}}} = 1 + C' e^{-\varphi\sqrt{-1}} + C'^2 e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc...},$$

car le second membre est une série convergente.

On aura de plus, lorsque le module de C est plus petit que l'unité,

$$\frac{1}{1 - C e^{\varphi\sqrt{-1}}} - 1 = C e^{\varphi\sqrt{-1}} + C^2 e^{2\varphi\sqrt{-1}} + C^3 e^{3\varphi\sqrt{-1}} + \ldots,$$

et lorsque le module de C est plus grand que l'unité,

$$\frac{1}{1 - C e^{\varphi\sqrt{-1}}} - 1 = \frac{-1}{1 - \dfrac{1}{C e^{\varphi\sqrt{-1}}}} =$$

$$= -\left\{ 1 + C^{-1} e^{-\varphi\sqrt{-1}} + C^{-2} e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc.} \right\}.$$

Donc, *suivant que* $(ab' - ba')^2$ *est plus petit ou plus grand que* $a'^2 + b'^2$, *il faudra, pour avoir des séries convergentes, recourir à l'une ou à l'autre des équations* :

$$\frac{n - n'\sqrt{-1}}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= 1 + C e^{\varphi\sqrt{-1}} + C^2 e^{2\varphi\sqrt{-1}} + \ldots$$

$$+ C' e^{-\varphi\sqrt{-1}} + C'^2 e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \ldots$$

$$\frac{n - n'\sqrt{-1}}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= (C' - C^{-1})\, e^{-\varphi\sqrt{-1}} + (C'^2 - C^{-2})\, e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \ldots.$$

Cela posé, on obtient les théorèmes suivants :

(1) Note 2.

I. *Lorsque* a, a', b, b' *sont des grandeurs quelconques réelles qui satisfont à l'inégalité*

$$(ab' - a'b)^2 > a'^2 + b'^2,$$

alors

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi} = 0;$$

et, plus généralement, lorsque $(ab' - a'b)$ *est positif, pour toute valeur entière positive de* i, *on a :*

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= \sqrt{-1}\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi}.$$

II. *Si* a, a', b, b' *sont des quantités quelconques réelles qui satisfont à l'inégalité*

$$(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2,$$

alors

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= \frac{2\pi}{\sqrt{1 - (a + a'\sqrt{-1})^2 - (b + b'\sqrt{-1})^2}};$$

il faut déterminer la racine de manière à ce que sa partie réelle soit positive.

La grandeur C^{-1} se calculera au moyen de la valeur de CC' donnée plus haut

$$C^{-1} = \frac{1+n-n'\sqrt{-1}}{1-n+n'\sqrt{-1}}\,C' = \frac{a-b'+(a'+b)\sqrt{-1}}{1-n+n'\sqrt{-1}},$$

on obtiendra ensuite

$$\frac{C'-C^{-1}}{n-n'\sqrt{-1}} = \frac{-2\left\{a-b'+(a'+b)\sqrt{-1}\right\}}{(a+a'\sqrt{-1})^2+(b+b'\sqrt{-1})^2}$$

$$= \frac{-2}{(a+b')+(a'-b)\sqrt{-1}},$$

et le théorème suivant pourra s'établir :

III. *Lorsque* a, a', b, b' *sont des quantités quelconques réelles qui satisfont à l'inégalité*

$$(ab'-ba')^2 > a'^2+b'^2,$$

et que $ab'-ba'$ *est positif* (1), *alors* :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos\varphi\, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi-(b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= \sqrt{-1}\int_0^{2\pi} \frac{\sin\varphi\, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi-(b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$= \frac{-2\pi}{(a+b')+(a'-b)\sqrt{-1}}.$$

---

(1) Voir Note 2. — 1re Remarque.

Que l'on pose

$$(a+b')+(a'-b)\sqrt{-1}=\mathrm{D},$$

$$(a-b')+(a'+b)\sqrt{-1}=\mathrm{D}',$$

alors

$$n-n'\sqrt{-1}=\sqrt{1-\mathrm{DD}'},$$

$$\mathrm{C}=\frac{\mathrm{D}}{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}=\frac{1-\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}{\mathrm{D}'},$$

$$\mathrm{C}'=\frac{\mathrm{D}'}{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}=\frac{1-\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}{\mathrm{D}}.$$

Si l'on emploie ces expressions, et que l'on se sert des développements en séries donnés précédemment, on trouvera les théorèmes généraux suivants : (1)

IV. *Soient* a, a', b, b' *des quantités réelles quelconques, qui ne satisfont cependant pas à l'équation* $(ab'-a'b)^2=a'^2+b'^2$; *soit de plus* $(ab'-a'b)$ *une quantité positive, et*

$$a+b'+(a'-b)\sqrt{-1}=\mathrm{D},$$

$$a-b'+(a'+b)\sqrt{-1}=\mathrm{D}';$$

Lorsque $(ab'-a'b)^2<a'^2+b'^2$, *alors pour une valeur entière de* i,

$$\int_0^{2\pi}\frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi-(b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$=\frac{\pi}{\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}\cdot\frac{\mathrm{D}^i+\mathrm{D}'^i}{\left\{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}\right\}^i},$$

$$\int_0^{2\pi}\frac{\sin i\varphi\, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi-(b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

$$=\frac{\pi\sqrt{-1}}{\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}\cdot\frac{\mathrm{D}^i-\mathrm{D}'^i}{\left\{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}\right\}^i};$$

(1) Voir Note 3.

Lorsque $(ab' - a'b)^2 > a'^2 + b'^2$, *alors pour une valeur entière positive de* i,

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1}) \cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1}) \sin\varphi} =$$

$$\sqrt{-1} \int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1}) \cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1}) \sin\varphi}$$

$$= -\pi \frac{\left\{1 + \sqrt{1 - \mathrm{D}\mathrm{D}'}\right\}^i - \left\{1 - \sqrt{1 - \mathrm{D}\mathrm{D}'}\right\}^i}{\sqrt{1 - \mathrm{D}\mathrm{D}'} \cdot \mathrm{D}^i}.$$

Le radical $\sqrt{1 - \mathrm{D}\mathrm{D}'}$ *doit toujours être déterminé de manière que sa partie réelle soit positive.*

Le théorème précédent fait voir que, dans le cas où $(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2$, on obtient tout-à-fait les mêmes formules que lorsque A et B sont réelles (1); tandis que, dans celui où $(ab' - a'b)^2 > a'^2 + b'^2$, les formules sont complètement différentes.

Pour exprimer ces résultats en fonction des quantités A et B, il suffit d'y remplacer respectivement D et D' par $\mathrm{A} - \mathrm{B}\sqrt{-1}$ et $\mathrm{A} + \mathrm{B}\sqrt{-1}$.

Si, en multipliant le dénominateur par une constante imaginaire, on lui donne la forme

$$(\alpha + \alpha'\sqrt{-1}) - (\beta + \beta'\sqrt{-1}) \cos\varphi - (\gamma + \gamma'\sqrt{-1}) \sin\varphi,$$

α, α', β, β', γ, γ' sont des constantes réelles, alors les deux cas à distinguer seront ceux où $(\beta\gamma' - \beta'\gamma)^2$ sera plus grand ou plus petit que $(\alpha\beta' - \alpha'\beta)^2 + (\alpha\gamma' - \alpha'\gamma)^2$, et l'on aura par exemple le théorème : (2)

(1) Note 4.

(2) Note 5.

Lorsque pour des valeurs réelles des quantités α, α', β, β', γ, γ' *on a l'inégalité :*

$$(\beta\gamma' - \beta'\gamma)^2 > (\alpha\beta' - \alpha'\beta)^2 + (\alpha\gamma' - \alpha'\gamma)^2,$$

alors l'intégrale définie

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{(\alpha + \alpha'\sqrt{-1}) - (\beta + \beta'\sqrt{-1})\cos\varphi - (\gamma + \gamma'\sqrt{-1})\sin\varphi}$$

s'annulle.

Berlin, le 14 février 1846.

NOTES.

NOTE 1.

Démontrer que $\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$ *devient infinie ou indéterminée pour certaines valeurs des coefficients* A *et* B. (A *et* B *désignent les quantités générales* $a + a'\sqrt{-1}$, $b + b'\sqrt{-1}$.)

La fraction $\frac{1}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$ ne devient infinie que lorsque

$$ab' - a'b = \sqrt{a'^2 + b'^2},$$

car alors il devient possible d'assigner des valeurs réelles de φ qui rendront nul le dénominateur $1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi$; les cosinus et les sinus de ces valeurs particulières que je désigne en général par Φ seront :

$$\cos\Phi = \frac{b'}{ab' - a'b}$$

$$\sin\Phi = \frac{-a'}{ab' - a'b}.$$

L'intégrale donnée peut se partager en ces trois autres :

$$\int_0^{\Phi - \varepsilon\xi_0} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} + \int_{\Phi - \varepsilon\xi_0}^{\Phi + \varepsilon\xi_1} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$$

$$+ \int_{\Phi + \varepsilon\xi_1}^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi},$$

où ξ_0, ξ_1 sont des indéterminées, et ε une quantité quelconque.

C'est l'intégrale $\int_{\Phi-\varepsilon\xi_0}^{\Phi+\varepsilon\xi_1} \frac{d\varphi}{1 - \text{A}\cos\varphi - \text{B}\sin\varphi}$ qui seule pourra rendre celle que j'étudie, infinie ou indéterminée.

Or, pour ε très-petit, la différence entre $\text{A}\cos\Phi + \text{B}\sin\Phi$ et $\text{A}\cos\varphi + \text{B}\sin\varphi$ est comparable à l'arc $\Phi - \varphi = \psi$; la valeur de l'intégrale, à laquelle j'ai été ramené, sera donc comparable à

$$\int_{-\varepsilon\xi_0}^{+\varepsilon\xi_1} \frac{d\psi}{\psi} = \log.\left(\frac{\xi_1}{-\xi_0}\right),$$

ce qui est indéterminé. L'intégrale sera donc elle-même indéterminée, ou infinie, lorsque $ab' - a'b = \sqrt{a'^2 - b'^2}$.

Voir la théorie des intégrales singulières de Cauchy.

NOTE 2.

THÉORÈME I. — *Lorsque a, a', b, b' sont des grandeurs réelles quelconques qui satisfont à l'inégalité*

$$(ab' - a'b)^2 > a'^2 + b'^2,$$

alors

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi} = 0,$$

et généralement, lorsque $ab' - a'b$ est positif, pour toute valeur positive de i,

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi-(b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi} =$$

$$\sqrt{-1}\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi-(b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi}.$$

Démonstration. Lorsque $(ab'-a'b)^2 > a'^2+b'^2$ le coëfficient de $d\varphi$ de la première intégrale peut se mettre sous la forme :

$$\frac{1}{n-n'\sqrt{-1}} \times$$

$$\left\{(C'-C^{-1})\, e^{-\varphi\sqrt{-1}} + (C''-C^{-2})\, e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc.}\right\},$$

et cette intégrale devient :

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} = \frac{C'-C^{-1}}{n-n'\sqrt{-1}}\int_0^{2\pi} e^{-\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi +$$

$$+\frac{C''-C^{-2}}{n-n'\sqrt{-1}}\int_0^{2\pi} e^{-2\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi + \text{etc.}$$

Or les diverses intégrales du second membre sont nulles, comme on le voit facilement en remplaçant $e^{-i\varphi\sqrt{-1}}$ par $\cos i\varphi - \sqrt{-1}\sin i\varphi$, donc

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} = 0.$$

D'un autre côté :

$$\int_0^{2\pi} \frac{e^{-i\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \frac{C' - C^{-1}}{n - n'\sqrt{-1}} \int_0^{2\pi} e^{-(i+1)\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi$$

$$+ \frac{C'^2 - C^{-2}}{n - n'\sqrt{-1}} \int_0^{2\pi} e^{-(i+2)\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi + \text{etc.},$$

toutes ces intégrales sont nulles, ce qui permet d'établir :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \sqrt{-1} \int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}.$$

Théorème II. *Lorsque a, a', b, b' sont des quantités réelles quelconques qui satisfont à l'inégalité*

$$(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2,$$

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - (a + a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b + b'\sqrt{-1})\sin\varphi} =$$

$$\frac{2\pi}{\sqrt{1 - (a + a'\sqrt{-1})^2 - (b + b'\sqrt{-1})^2}},$$

si l'on détermine toutefois la racine de manière à ce que sa partie réelle soit positive.

Démonstration. — On a trouvé pour le développement du coëfficient de $d\varphi$, dans l'hypothèse où $(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2$,

$$\frac{1}{n - n'\sqrt{-1}} \left\{ \begin{array}{l} 1 + C e^{\varphi\sqrt{-1}} + C^2 e^{2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc}\ldots \\ + C' e^{-\varphi\sqrt{-1}} + C'^2 e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc}\ldots \end{array} \right\},$$

donc :

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} =$$

$$\frac{1}{n-n'\sqrt{-1}}\int_0^{2\pi} d\varphi + \frac{C}{n-n'\sqrt{-1}}\int_0^{2\pi} e^{\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi + \text{etc...}$$

$$= \frac{2\pi}{n-n'\sqrt{-1}} = \frac{2\pi}{\sqrt{1-A^2-B^2}}.$$

On sait que le signe de $\sqrt{1-A^2-B^2}$ a été choisi de manière à ce que la partie réelle n soit positive, et qu'on a fait usage de cette convention pour établir le critérium.

REMARQUE I.

Jacobi rappelle, pour la deuxième partie du premier théorème, l'une des premières hypothèses de son Mémoire, celle qui consiste à regarder $\Delta = ab' - a'b$ comme *positif*. Je vais en démontrer la nécessité, en employant un procédé dont il s'est servi lui-même, et qui permettrait de montrer facilement l'indépendance du signe de Δ sur la valeur de

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}.$$

Je vais faire voir que l'équation suivante :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \sqrt{-1}\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$$

n'existe plus, ou que

$$\int \frac{e^{-i\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$$

n'est plus égal à zéro dès que Δ *est négatif.*

Démonstration. Après avoir changé φ en $2\pi - \varphi$, il vient :

$$\int_0^{2\pi} \frac{e^{i\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi}{1 - A\cos\varphi + B\sin\varphi}, \qquad \text{car} \quad e^{\pm 2i\pi\sqrt{-1}} = 1.$$

La forme de l'intégrale est modifiée, il faudra une recherche particulière pour s'en procurer la valeur.

La quantité $\dfrac{1}{1 - A\cos\varphi + B\sin\varphi}$ se développe comme précédemment, il suffit de changer $-B$ en $+B$, la dernière intégrale sera donc égale à :

$$\frac{\Gamma' - \Gamma^{-1}}{n - n'\sqrt{-1}} \int_0^{2\pi} e^{(i-1)\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi + \ldots$$

$$+ \frac{\Gamma'^i - \Gamma^{-i}}{n - n'\sqrt{-1}} \int_0^{2\pi} d\varphi + \ldots = \frac{\Gamma'^i - \Gamma^{-i}}{n - n'\sqrt{-1}} \cdot 2\pi$$

où
$$\Gamma' = \frac{A - B\sqrt{-1}}{1 - \sqrt{1 - A^2 - B^2}},$$

$$\Gamma = \frac{A + B\sqrt{-1}}{1 - \sqrt{1 - A^2 - B^2}}.$$

L'intégrale cherchée a donc pour valeur :

$$\int_0^{2\pi} \frac{e^{-i\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \int_0^{2\pi} \frac{e^{+i\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi}{1 - A\cos\varphi + B\sin\varphi}$$

$$= \frac{(A - B\sqrt{-1})^i - (A + B\sqrt{-1})^{-i}}{\sqrt{1 - A^2 - B^2}\,(1 - \sqrt{1 - A^2 - B^2})^i}\,2\pi.$$

Remarque. A la fin de la note suivante on cherchera les valeurs absolues de

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}, \text{ et de } \int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi},$$

dans l'hypothèse où Δ est négatif et $\Delta^2 > a'^2 + b'^2$, on pourra alors établir la relation :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = -\sqrt{-1} \int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}.$$

REMARQUE II.

La deuxième partie du premier théorème n'est pas nécessairement amenée par l'exposition systématique de la recherche annoncée par le titre du Mémoire, qui du reste n'est plus suffisant pour tout ce qui suit les théorèmes qui viennent d'être étudiés.

C'est la suite des idées qui a entraîné Jacobi à intercaler ce résultat dans un ensemble où il n'aurait pas dû entrer. Le Mémoire du reste n'en est que plus précieux, il permet de suivre la marche de Jacobi. Il a d'abord recherché l'intégrale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi};$$

puis il a remarqué que dans un cas particulier $\Delta^2 > a'^2 + b'^2$ il y avait une relation simple entre les intégrales

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}, \quad \int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi};$$

puis il a recherché les valeurs absolues de ces intégrales, lors

bien même que la relation $\Delta^2 > a'^2 + b'^2$ n'existait pas ; enfin il a songé à l'intégrale générale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{(\alpha+\alpha'\sqrt{-1})-(\beta+\beta'\sqrt{-1})\cos\varphi-(\gamma+\gamma'\sqrt{-1})\sin\varphi}.$$

NOTE 3.

Recherche de $\int_0^{2\pi} \frac{\begin{smallmatrix}\sin\\ \cos\end{smallmatrix}(i\varphi)\,d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi}$

Dans cette recherche il faudra distinguer deux cas, celui où $(ab'-a'b)^2$ est plus grand de celui où cette quantité est plus petite que $a'^2+b'^2$.

1er *Cas.* $(ab'-a'b)^2 > a'^2+b'^2$.

Je rechercherai d'abord l'intégrale $\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi}$.

Après avoir remplacé $\frac{1}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi}$ par son développement, il vient, lorsque $i=1$:

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos\varphi\, d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} =$$

$$= \int_0^{2\pi} \cos\varphi \left\{ \begin{array}{l} (C'-C^{-1})\, e^{-\varphi\sqrt{-1}} + \\ +(C'^2-C^{-2})\, e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \\ + \ldots\ldots \end{array} \right\} \frac{d\varphi}{u-u'\sqrt{-1}},$$

or

$$\int_0^{2\pi} \cos i\varphi \left\{ \cos i\varphi - \sqrt{-1} \sin i\varphi \right\} = \pi ,$$

$$\int_0^{2\pi} \cos i\varphi \left\{ \cos i'\varphi - \sqrt{-1} \sin i'\varphi \right\} = 0 ;$$

donc l'intégrale cherchée est égale à :

$$\frac{C' - C^{-1}}{n - n'\sqrt{-1}} \cdot \pi = -2\pi \frac{1}{(a + b') + (a' - b)\sqrt{-1}}.$$

Dans le cas général, il vient de même :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - A \cos\varphi - B \sin\varphi} =$$

$$\int_0^{2\pi} \cos i\varphi \cdot \left\{ (C' - C^{-1}) e^{-\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc.} \ldots \right\} \cdot \frac{d\varphi}{n - n'\sqrt{-1}}$$

$$= \frac{C'^i - C^{-i}}{n - n'\sqrt{-1}} \cdot \pi \text{ (1)}.$$

A cause du théorème :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1 - A \cos\varphi - B \sin\varphi} = \sqrt{-1} \int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - A \cos\varphi - B \sin\varphi},$$

il ne sera pas nécessaire de faire une recherche spéciale pour la seconde intégrale; cette recherche se ferait du reste identiquement de la même manière que pour la première.

---

(1) Lorsque $i = 0$ on retombe sur une équation obtenue dans la note précédente.

TRANSFORMATION.

Si l'on pose :

$$\left\{\begin{array}{l} a+b'+(a'-b)\sqrt{-1}=\mathrm{D}, \\ a-b'+(a'+b)\sqrt{-1}=\mathrm{D}', \end{array}\right. \quad \text{ou} \quad \left\{\begin{array}{l} \mathrm{D}=\mathrm{A}-\mathrm{B}\sqrt{-1}, \\ \mathrm{D}'=\mathrm{A}+\mathrm{B}\sqrt{-1}; \end{array}\right.$$

on trouve facilement :

$$\mathrm{DD}'=(a+a'\sqrt{-1})^2+(b+b'\sqrt{-1})^2,$$

$$\sqrt{1-\mathrm{DD}'}=\sqrt{1-(a+a'\sqrt{-1})^2-(b+b'\sqrt{-1})^2}=n-n'\sqrt{-1},$$

$$\mathrm{C}=\frac{\mathrm{D}}{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}=\frac{1-\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}{\mathrm{D}'},$$

$$\mathrm{C}'=\frac{\mathrm{D}'}{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}=\frac{1-\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}{\mathrm{D}}.$$

$$\frac{\mathrm{C}'^{i}-\mathrm{C}^{-i}}{n-n'\sqrt{-1}} \text{ devient ainsi}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}\left\{\frac{\left\{1-\sqrt{1-\mathrm{DD}'}\right\}^{i}-\left\{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}\right\}^{i}}{\mathrm{D}^{i}}\right\}.$$

On peut donc écrire l'équation générale :

$$\int_0^{2\pi}\frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1-\mathrm{A}\cos\varphi-\mathrm{B}\sin\varphi}=\sqrt{-1}\int_0^{2\pi}\frac{\sin i\varphi\, d\varphi}{1-\mathrm{A}\cos\varphi-\mathrm{B}\sin\varphi}$$

$$=-\pi\frac{\left\{1+\sqrt{1-\mathrm{DD}'}\right\}^{i}-\left\{1-\sqrt{1-\mathrm{DD}'}\right\}}{\mathrm{D}^{i}\sqrt{1-\mathrm{DD}'}}.$$

2me *Cas.* $(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2$.

Dans cette hypothèse je rechercherai d'abord

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1-(a+a'\sqrt{-1})\cos\varphi - (b+b'\sqrt{-1})\sin\varphi}.$$

J'obtiens pour sa valeur, en remplaçant $\dfrac{1}{1-\mathrm{A}\cos\varphi-\mathrm{B}\sin\varphi}$ par son développement,

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{n-n'\sqrt{-1}} \left(\begin{array}{l} 1 + \mathrm{C}\, e^{\varphi\sqrt{-1}} + \mathrm{C}^2 e^{2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc.}\dots \\ + \mathrm{C}'\, e^{-\varphi\sqrt{-1}} + \mathrm{C}'^2 e^{-2\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc.}\dots \end{array} \right)$$

$$= \frac{\mathrm{C}^i + \mathrm{C}'^i}{n-n'\sqrt{-1}} \cdot \pi,$$

car

$$\int_0^{2\pi} \cos i\varphi \left\{ \cos i'\varphi + \sqrt{-1}\sin i'\varphi \right\} = 0,$$

$$\int_0^{2\pi} \cos i\varphi \left\{ \cos i\varphi + \sqrt{-1}\sin i\varphi \right\} = \pi.$$

Si l'on emploie la même notation que ci-dessus, il vient :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi \, d\varphi}{1-\mathrm{A}\cos\varphi-\mathrm{B}\sin\varphi} = \frac{\pi}{\sqrt{1-\mathrm{D}\mathrm{D}'}} \cdot \frac{\mathrm{D}^i + \mathrm{D}'^i}{\left\{1+\sqrt{1-\mathrm{D}\mathrm{D}'}\right\}^i}. \quad (1)$$

Il faudra faire ensuite une recherche spéciale pour

$$\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1-\mathrm{A}\cos\varphi-\mathrm{B}\sin\varphi},$$

(1) Lorsque $i=0$ on retombe sur les valeurs étudiées dans la note précédente.

car ici les deux intégrales ne sont plus unies par une relation très-simple. Cette intégrale est égale à :

$$\int_0^{2\pi} \sin i\varphi \left\{ \begin{array}{l} 1 + \mathrm{C}\, e^{\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc...} \\ + \mathrm{C}'\, e^{-\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc....} \end{array} \right\} \frac{d\varphi}{n - n'\sqrt{-1}}$$

$$= +\sqrt{-1} \cdot \pi \cdot \frac{\mathrm{C}^i - \mathrm{C}'^i}{n - n'\sqrt{-1}},$$

car

$$\int_0^{2\pi} \sin i\varphi \left\{ \cos i'\varphi \pm \sqrt{-1} \sin i'\varphi \right\} = 0,$$

$$\int_0^{2\pi} \sin i\varphi \left\{ \cos i\varphi \pm \sqrt{-1} \sin i\varphi \right\} = \pm \sqrt{-1} \cdot \pi,$$

ce qui permet d'écrire :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi \, d\varphi}{1 - \mathrm{A} \cos \varphi - \mathrm{B} \sin \varphi}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{-1}}{\sqrt{1 - \mathrm{DD}'}} \cdot \frac{\mathrm{D}^i - \mathrm{D}'^i}{\left\{ 1 + \sqrt{1 - \mathrm{DD}'} \right\}^i}.$$

REMARQUE I.

Je me suis fréquemment servi dans cette note des formules :

$$\int_0^{2\pi} \cos i\varphi \cos i'\varphi \, d\varphi = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{pour } i \gtrless i', \\ \pi & \text{pour } i = i', \end{array} \right.$$

$$\int_0^{2\pi} \sin i\varphi \cos i'\varphi \, d\varphi = 0,$$

$$\int_0^{2\pi} \sin i\varphi \sin i'\varphi \, d\varphi = \begin{cases} 0 & \text{pour } i \gtrless i', \\ \pi & \text{pour } i = i', \end{cases}$$

je vais en rappeler la démonstration. On sait que :

$$\cos i\varphi \cos i'\varphi = \frac{\cos(i'+i)\varphi + \cos(i-i')\varphi}{2},$$

$$\sin i\varphi \cos i'\varphi = \frac{\sin(i+i')\varphi + \sin(i-i')\varphi}{2},$$

$$\sin i\varphi \sin i'\varphi = \frac{\cos(i-i')\varphi - \cos(i+i')\varphi}{2};$$

les intégrales ci-dessus reviennent donc à celles-ci

$$\pm \tfrac{1}{2}\int_0^{2\pi} \cos(i+i')\varphi \, d\varphi + \tfrac{1}{2}\int_0^{2\pi} \cos(i-i')\varphi \, d\varphi,$$

$$\tfrac{1}{2}\int_0^{2\pi} \sin(i+i')\varphi \, d\varphi + \tfrac{1}{2}\int_0^{2\pi} \sin(i-i')\varphi \, d\varphi.$$

La première intégrale est toujours nulle, à cause de ses limites.

La seconde est nulle tant que $i \gtrless i'$, mais pour $i = i'$ elle devient

$$\tfrac{1}{2}\int_0^{2\pi} d\varphi = \pi.$$

La troisième et la quatrième sont toujours nulles. Ce qui démontre les formules écrites ci-dessus.

REMARQUE II.

Jusqu'ici dans cette note, Δ a été considéré comme positif. Je suppose maintenant qu'il soit négatif, et fais la recherche dans le cas où $\Delta^2 > a'^2 + b'^2$.

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi + B\sin\varphi}$$ par le changement de φ en $2\pi - \varphi$

$$= \frac{(A - B\sqrt{-1})^i - (A + B\sqrt{-1})^{-i}}{(n - n'\sqrt{-1})(1 - \sqrt{1 - A^2 - B^2})^i} \cdot \pi.$$

$$\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = -\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi + B\sin\varphi}$$

par le changement de φ en $2\pi - \varphi$

$$= -\int_0^{2\pi} \sin i\varphi \left\{ (\Gamma' - \Gamma^{-1}) e^{-\varphi\sqrt{-1}} + \text{etc.}\ldots \right\} \frac{d\varphi}{n - n'\sqrt{-1}}$$

$$= +\sqrt{-1} \cdot \pi \cdot \frac{\Gamma'^i - \Gamma_{-i}}{n - n'\sqrt{-1}}$$

$$= +\sqrt{-1} \cdot \pi \; \frac{(A - B\quad \overline{-1})_i - (A + B\sqrt{-1})^{-i}}{(n - n'\sqrt{-1})(1 - \sqrt{1 - A^2 - B^2})^i}$$

à cause des valeurs de Γ, Γ'.

La combinaison des formules précédentes donne

$$1^\circ \int_0^{2\pi} \frac{e^{-i\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \int_0^{2\pi} \frac{e^{+i\varphi\sqrt{-1}}\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi + B\sin\varphi}$$

$$= 2\pi \cdot \frac{(A - B\sqrt{-1})^i - (A + B\sqrt{-1})^{-i}}{(n - n'\sqrt{-1})(1 - \sqrt{1 - A^2 - B^2})_i},$$

résultat auquel j'étais arrivé dans la note 2.

$$2^\circ \int_0^{2\pi} \frac{e^{i\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} = \int_0^{2\pi} \frac{e^{-i\varphi\sqrt{-1}}\,d\varphi}{1-A\cos\varphi+B\sin\varphi} = 0$$

et enfin :

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\,d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} = -\sqrt{-1}\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi\,d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi}$$

résultat que j'avais annoncé.

NOTE 4.

Remarque. *Dans le cas où* $(ab'-a'b)^2 < a'^2 - b'^2$ *on a les mêmes formules que lorsque* A *et* B *ont des valeurs réelles, ainsi :*

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} = \frac{2\pi}{\sqrt{1-A^2-B^2}},$$

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos i\varphi\,d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} =$$

$$\frac{\pi}{\sqrt{1-A^2-B^2}} \cdot \frac{\left\{A-B\sqrt{-1}\right\}^i + \left\{A+B\sqrt{-1}\right\}^i}{\left\{1+\sqrt{1-A^2-B^2}\right\}^i},$$

$$\int_0^{2\pi} \frac{\sin i\varphi\,d\varphi}{1-A\cos\varphi-B\sin\varphi} =$$

$$\frac{\pi\sqrt{-1}}{\sqrt{1-A^2-B^2}} \cdot \frac{\left\{A-B\sqrt{-1}\right\}^i - \left\{A+B\sqrt{-1}\right\}^i}{\left\{1+\sqrt{1-A^2-B^2}\right\}^i}.$$

Démonstration. Lorsque A et B sont réelles, alors a' et b' deviennent nulles et le critérium illusoire. Il est intéressant de chercher la valeur des trois intégrales dans l'hypothèse indiquée; on ne peut plus se servir des formules, car celles-ci apportent deux valeurs différentes, et le critérium n'enseigne plus laquelle des valeurs il faut choisir.

Il suffira évidemment de chercher l'une des trois intégrales : si sa valeur se trouve parmi celles que l'on obtient lorsque $(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2$ alors il en est de même pour les deux autres.

Il faut remarquer d'abord que $\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$

se ramène très-facilement à l'intégrale très-connue

$$\int_0^{2\pi} \frac{dx}{1 - h\cos x};$$

il suffit de poser

$$\left.\begin{array}{l} A = h\cos\varepsilon \\ B = h\sin\varepsilon \end{array}\right\} h = \sqrt{A^2 + B^2}.$$

Il est ensuite aisé de prouver l'égalité

$$\int_0^{2\pi} \frac{dx}{1 - h\cos x} = \frac{2\pi}{\sqrt{1 - h^2}}.$$

Pour y parvenir on peut, lorsque $h < 1$, développer $\frac{1}{1 - h\cos x}$ suivant les puissances de $h\cos x$; ou bien poser $\cos x = y$ et ramener l'intégrale à

$$\int \frac{d\varphi}{(1 - hy)\sqrt{1 - y^2}},$$

qui s'intègre par des moyens connus, et donne pour intégrale générale

$$\frac{2}{\sqrt{1-h^2}} \text{ arc tg} = \frac{\sin x \sqrt{1-h^2}}{1+\cos x\,(1-h)},$$

qui entre les limites 0 et 2π donne enfin

$$\frac{2\pi}{\sqrt{1-h^2}};$$

ou bien encore en posant $u = \text{tg}\,\frac{1}{2}\,x$, l'intégrale se ramène alors à

$$\frac{2}{\sqrt{1-h^2}} \int \frac{d\left(u\sqrt{\frac{1+h}{1-h}}\right)}{1+\left(u\sqrt{\frac{1+h}{1-h}}\right)^2}$$

dont l'intégrale générale est bien connue.

Il est ainsi bien démontré que

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi} = \frac{2\pi}{\sqrt{1-A^2-B^2}},$$

donc la valeur de cette intégrale, dans le cas où A et B sont des quantités réelles, a la même forme que dans celui où $(ab' - a'b)^2 < a'^2 + b'^2$.

Si l'on voulait trouver directement les valeurs des deux autres intégrales pour A et B réelles, on pourrait profiter des résultats indiqués dans le Mémoire de Jacobi. *Journal de Crelle*. Vol. 15.

Formula transformationis integralium definitorum. (2ᵉ page.)

NOTE 5.

RECHERCHE DE L'INTÉGRALE

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{(\alpha+\alpha'\sqrt{-1})-(\beta+\beta'\sqrt{-1})\cos\varphi-(\gamma+\gamma'\sqrt{-1})\sin\varphi}.$$

On peut la mettre sous la forme :

$$\frac{1}{\alpha+\alpha'\sqrt{-1}}\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{1-\frac{\beta+\beta'\sqrt{-1}}{\alpha+\alpha'\sqrt{-1}}\cos\varphi-\frac{\gamma+\gamma'\sqrt{-1}}{\alpha+\alpha'\sqrt{-1}}\sin\varphi};$$

l'intégrale devient infinie ou indéterminée lorsque :

$$1-\frac{\beta+\beta'\sqrt{-1}}{\alpha+\alpha'\sqrt{-1}}\cos\varphi-\frac{\gamma+\gamma'\sqrt{-1}}{\alpha+\alpha'\sqrt{-1}}\sin\varphi=0,$$

alors

$$\alpha-\beta\cos\varphi-\gamma\sin\varphi=0,$$
$$\alpha'-\beta'\cos\varphi-\gamma'\sin\varphi=0,$$

d'où l'on tire :

$$\cos\varphi=\frac{\alpha\gamma'-\alpha'\gamma}{\beta\gamma'-\beta'\gamma},$$

$$\sin\varphi=\frac{\alpha\beta'-\alpha'\beta}{\beta\gamma'-\beta'\gamma}.$$

Pour qu'une valeur réelle de φ satisfasse simultanément à ces deux équations, il faut que :

$$(\beta\gamma'-\beta'\gamma)^2=(\alpha\beta'-\alpha'\beta)^2+(\alpha\gamma'-\alpha'\gamma)^2;$$

c'est la condition pour que l'intégrale puisse devenir infinie ou indéterminée.

Il est facile de voir que :

$$(\beta\gamma' - \beta'\gamma)^2 \gtrless (\alpha\beta' - \alpha'\beta)^2 + (\alpha\gamma' - \alpha'\gamma)^2$$

servira aussi de critérium, et que les résultats obtenus pour $\int_0^{2\pi} \frac{\begin{smallmatrix}\sin\\ \cos\end{smallmatrix}(i\varphi)\, d\varphi}{1 - A\cos\varphi - B\sin\varphi}$ seront immédiatement appliquables au cas dont je m'occupe, si je remplace partout a, a', b, b' par leurs valeurs correspondantes

$$\frac{\beta\alpha + \beta'\alpha'}{\alpha^2 + \alpha'^2}, \quad \frac{\beta'\alpha - \beta\alpha'}{\alpha^2 + \alpha'^2}, \quad \frac{\gamma\alpha + \gamma'\alpha'}{\alpha^2 + \alpha'^2}, \quad \frac{\gamma'\alpha - \gamma\alpha'}{\alpha^2 + \alpha'^2}.$$

Bruxelles, le 30 octobre 1857.

IV. — *Notice géologique sur le terrain crétacé des environs de Jauche et de Ciply*,

PAR

Jhr. VAN BINKHORST.

A un quart de lieue de Jauche, près de Jodoigne, à 3 lieues de Tirlemont et à 2 lieues de Landen, dans une des contrées les plus riches et les plus fertiles de la Belgique, viennent affleurer des couches crétacées, marquées sur la carte de Dumont de la lettre M. (Système Maestrichtien), et considérées par les géoloques Belges et Français comme constituant un lambeau de la craie tuffeau du Limbourg Néerlandais. Nous avons étudié ces couches aussi minutieusement que nous avons pu le faire et le résultat de nos observations se résume dans la coupe que nous a fournie l'entrée des souterrains dits de Folx-les-Caves. Ces souterrains situés en partie sur le territoire de la commune du même nom et en partie sur le territoire de la commune de Jauche, appartiennent à Mr Gerondal, Bourgmestre de Jauche, qui les exploite pour en extraire une grande quantité de pavés servant au pavage des routes du Gouvernement et des chemins vicinaux ; un aqueduc d'une longueur de 300 mètres y est construit à la profondeur de 15 mètres, pour l'écoulement des eaux.

Voici les diverses couches que nous avons observées. (Voir la figure ci-contre)

a. Loess 30 centimètres à 2 mètres d'épaisseur ; à plusieurs autres endroits mais toujours sur la droite de la vallée comme l'avait déjà remarqué Dumont, nous avons trouvé cette argile atteignant de 7 à 8 mètres d'épaisseur.

b. Des fragments minces et feuilletés du tuffeau

de Lincent (Landenien inférieur de Dumont), entremêlés de Loess et de sable d'un vert sale avec de rares petits cailloux roulés et quelques empreintes de bivalves : 2 mètres.

c. 2 mètres de sable glauconifère (Landenien inférieur de Dumont), avec *Astarte inæquilateralis*, Nyst.

d. 30 centimètres de cailloux noirs, très-arrondis, entremêlés de rognons de silex : les cailloux de la grosseur d'un œuf de pigeon à celle d'un poing, les rognons de silex quelquefois ayant un diamètre de 30 centimètres.

e. Une couche de craie tuffeau d'un blanc jaunâtre avec des taches de rouille et un grand nombre de petits cailloux. Elle est fort riche en fossiles; elle est surtout caractérisée par le grand nombre d'exemplaires de

Microbacia nov. sp.
Bourgueticrinus ellipticus, Miller.
— — œqualis, d'Orbigny.
Pecten quadricostatus, Sowerby.
Belemnitella mucronata, etc.

L'épaisseur de cette couche varie de 35 centimètres à 1 ½ mètre à l'entrée de la carrière, elle a 15 à 30 centimètres de puissance. Sur le profil nous avons donné à cette assise un plus grand développement tel que nous l'avons observé à une petite distance de cette entrée des souterrains. Cette craie tuffeau à la première vue rappelle celle de Maestricht, mais elle est moins cohérente; ses grains sont plus gros et elle contient aussi de nombreux petits cailloux. Si un grand nombre de ses fossiles appartiennent à la faune de la craie de Maestricht, beaucoup d'autres espèces appartiennent à la craie blanche, mais tandis que la craie tuffeau du Limbourg Hollandais, est composée de couches ayant plus ou moins ses espèces particulières à elle, dans la carrière de Folx-les-Caves et de Jauche, les fossiles de la craie tuffeau et de la craie blanche se trouvent mêlés à des bryozoaires, dans une couche caractérisée avant tout par un nombre considérable d'exemplaires de la Microbacia nov. sp. Nous considérons donc cette assise de la craie de Folx-les-Caves comme une couche intermédiaire entre notre craie tuffeau et la craie blanche sur laquelle elle repose, nous rappelant ainsi certaines couches de Kunraed, de Vetschau, de St. Pierre et de Fauquemont. Nous avons recueilli dans cette couche, les fossiles suivants :

Chelonia Hoffmanni, Gray.
Mosasaurus Hoffmanni, Mantell.
Corax pristodontus, Agassiz.
Otodus appendiculatus, id.
— latus, id.
Oxyrrhena Mantelli, id.
Belemnitella mucronata, Schloth.
— quadrata, d'Orb.
Baculites Faujasii, Lamarck.
Aptychus rugosus, Sharpe.
Rhyncholites Debeyi, Müller.
Oncoparœa heterodon, Bosquet.
Hypponix Dunckerianus, id.
Ostrea vesicularis, grande variété, Lam.
— — petite variété de la craie tuffeau.
— — larva, id.
— — lateralis, Goldfuss.
— — hippopodium, Nilson.
— — flabelliformis, id.
— — canaliculata, d'Orb.
Pecten (Janira) quadri-costatus, Sowerby.
— — striato-costatus, Goldf.
— — quinque-costatus, Sow.
— — Dutemplii, d'Orb.
Avicula cœrulescens, Nils.
Spondylus lineatus, Goldf.
Crassatella Bosquetiana, d'Orb.
Rhynchonella plicatilis, Davidson.
Rhynchonella pisum, Sow.
Magas pumilus, id.
— Davidsoniana, de Kon.
Terebratella striatula, Schloth.
Crania Ignabergensis, Retzius.
Catopygus lœvis, d'Orb.
Galerites sp.
Echinocyamus placenta, Goldf.
Pentetagonaster quinqueloba, id.
Bourgueticrinus ellipticus, Miller.
— œqualis, d'Orb.
Cidaris Faujasii, Desor.

Serpula gordialis, Goldf.
— subtorquata, id.
Eschara Lamarckii, Hagenow.
— Jussieui, id.
— pyriformis, Goldf.
— dichotoma, Hag.
Heteropora crassa, Hag.
Inversaria, sp.
Lunulites Goldfussii, Hag.
Diastopora disciformis, id.
Cellepora Granti, id.
Micrabacia nov. sp.
Trochosmilia Faujasii, Edw. et H.

f. Une couche d'un calcaire dur de 1 mètre d'épaisseur formée de concrétions calcaires d'une forme irrégulière, d'un diamètre de 20 à 40 centimètres. Ces concrétions brisées montrent la même craie tuffeau de la couche supérieure qui en remplit aussi les interstices. Leur surface est couverte d'un grand nombre de fossiles parmi lesquels dominent Belemnitella mucronata, Schloth.

Ostrea hippopodium, Nils.
— flabelliformis, id.
Hipponyx Dunckerianus, Bosq.
Pecten (Janira) quadricostatus, Sow.
— — striatocostatus, id.
Spondylus lineatus, Goldf.

Dans la partie inférieure de cette couche, d'après le propriétaire et les ouvriers, on a trouvé les fossiles suivants que la bienveillance de M. Geraldon et le vif intérêt qu'il prend aux sciences nous a permis de déposer dans notre collection.

Des dents, des vertèbres et fragments d'os de Mosasaurus Hoffmanni.

Une vertèbre biconcave d'un reptile que nous ne croyons pas encore avoir été décrit, et qui a les deux fossettes et la forme des vertèbres du genre *Plesiosaurus.*

Un exemplaire d'une grande Ammonite de 60 centimètres de diamètre que nous croyons être une espèce nouvelle.

Une nouvelle espèce de Scalaire et plusieurs autres espèces que nous avons déjà mentionnées, comme ayant été recueillies dans la même couche.

g. 4 mètres de craie tuffeau peu cohérente d'une couleur grise claire avec peu de fossiles.

C'est dans cette assise que l'on a creusé les galeries dont on exploite aujourd'hui la partie inférieure, durcie par le long séjour qu'y ont fait les eaux.

h. Ces bancs durs comme du marbre, traversent la craie tuffeau et ont de 6 centimètres à 1 $^1/_4$ mètre d'épaisseur. Leur couleur est grise et elles contiennent fort peu de fossiles. Nous n'y avons recueilli qu'un moule d'une grande Crassatelle. Nous avons compté quatre de ces bancs sous lesquels se trouve la craie tuffeau dont nous n'avons pas pu déterminer l'épaisseur.

ORP-LE-PETIT.

A droite de la route qui mène de Orp-le-Petit à Jauche, on remarque une coupe qui constitue un véritable chaos, un pèle mèle des couches tertiaires diluviennes crétacées remaniées, bouleversées de manière que c'est assez difficilement que nous sommes parvenu à trouver notre chemin dans ce labyrinthe. Nous en donnons ici le profil.

a. Terre végétale.

b. Loess 2 mètres.

c. Sable tertiaire d'un gris verdâtre (Landenien inférieur de Dumont), 1 $^1/_4$ — 3 $^1/_2$ mètres.

d. Cailloux roulés noirs dont les plus grands ont la grosseur d'un œuf de poule, cette couche épaisse de $^1/_4$ de mètre contient aussi quelques rognons cylindriques de silex.

Nous avons partout dans les environs de Jauche, remarqué cette couche et celle de sable tertiaire qui la couvre à Jandrain, Folx-les-Caves, etc.

e. 1 $^1/_2$ à 2 mètres de craie blanche à silex noirs.

f. Craie tuffeau ressemblant beaucoup à celle du Limbourg, mais contenant un grand nombre de petits cailloux. Cette couche est crevassée de tous les côtés. M. d'Archiac et autres géologues la considèrent comme appartenant à la craie tuffeau du Limbourg.

En fait de fossiles elle contient des milliers d'exemplaires de

Thecidium radians. Les crevasses sont remplies souvent par les cailloux de l'assise *d*.

g. 1 $^1/_2$ — 2 mètres d'une pierre crevassée et rappelant beaucoup notre pierre cornéenne dont elle renferme aussi plusieurs espèces de fossiles. Dans les crevasses de cette couche on retrouve le sable tertiaire *c*. Elle renferme encore des débris d'une pierre calcaire dure qui contient aussi des petits cailloux et ne consiste qu'en débris organiques.

Nous y avons trouvé

Belemnitella mucronata, Schloth.
Terebratula carnea, Sow.
— subplicata, Mant.
Thecidium radians, Goldf.
Pecten pulchellus, Nils.
Ostrea vesicularis, grande variété, Lam.
Catopygus lœvis, d'Orb.

Ces fragments ou débris d'une couche riche en fossiles ont jusqu'à 50 centimètres de diamètre et se trouvent éparpillés dans cette assise et celle qui la couvre. Les fossiles sont en mauvais état. Enfin, sous cette couche de débris se retrouve la craie blanche à silex noirs dont les couches n'ont pas été bouleversées et qui n'ayant ici qu'une épaisseur de 4 mètres peut être mieux étudiée à Orp-le-Grand ou à Jandrain où ce dépôt a une puissance de 12 mètres.

CIPLY.

Nous retrouvons encore une partie de nos couches crétacées en Belgique à Ciply à une lieue au Sud de Mons, chef-lieu de la Province du Hainaut. Notre craie supérieure y remplit une dépression de la craie blanche, s'amincissant de l'Est à l'Ouest comme M. d'Archiac l'a déjà fait remarquer, de manière à manquer vers l'extrémité occidentale des talus formés par la craie blanche, s'amincissant également au Sud de Ciply et disparaissant au Nord-Ouest sous les sables tertiaires. M. d'Archiac (1) ajoute, « les dépôts analogues de Maestricht, de Folx-les-Caves

(1) M. d'Archiac, progrès de la géologie 1851, tome IX, p. 176.

» ne constituent point absolument des lambeaux ou restes d'une » nappe autrefois continue, mais ils ont rempli des dépressions » de la craie vers les bords desquelles on les voit s'amincir » et se terminer comme s'ils ne s'étaient jamais étendus beaucoup » au-delà. »

Nous sommes de l'avis de M. d'Archiac, qui pense que la craie tuffeau de Maestricht s'est déposée le long de la côte de la mer crétacée, là où sa faune trouvait réunies les conditions nécessaires à son existence, c'est-à-dire des eaux limpides profondes et agitées et que la dépression locale de la craie blanche y avait préparé le bassin dans lequel cette faune pouvait se développer.

En suivant la route qui conduit de Mons à Ciply, on remarque à un quart de lieue de la ville, à main droite de la chaussée, une coupe de l'argile d'Ypres (Londonclay), épaisse de 2 $^1/_2$ mètres, couverte par 5 ou 6 mètres de sable gris glauconifère (Yprésien supérieur de Dumont).

Près de Ciply, le Landénien inférieur vient affleurer, et y recouvre la craie tuffeau de Maestricht. Ces couches tertiaires sont recouvertes à leur tour par le Loess et un mince dépôt de cailloux roulés semblables aux couches que l'on observe dans le Limbourg Néerlandais, mais elles n'offrent pas la même continuité, en sorte qu'on ne peut les étudier que dans très-peu d'endroits.

A Ciply, la craie tuffeau de Maestricht (1) vient affleurer à gauche de la chaussée et y a une épaisseur de 5 à 8 mètres.

Dans sa partie supérieure un banc de calcaire dur et compact d'un blanc grisâtre crevassé, nous a rappelé un banc analogue à St.-Pierre et à Geulhem; seulement ici la craie est chloritée et contient beaucoup de petits cailloux. Nous avons trouvé dans les crevasses de cette assise beaucoup de fragments de bryozoaires entre autres de

---

(1) Les terrains modernes des environs de Mons, offrent un intérêt paléontologique et archéologique particulier. Ainsi dans le depôt de tourbe de la vallée de la Haine qui se jette dans l'Escaut à Condé, on a trouvé avec des objets d'art de l'époque Romaine et Celto-Germanique, des restes de castor, bœuf, chien, cerf, mammouth, entr'autres de magnifiques cornes de bœuf et une tête entière de castor, qui se trouvent avec les autres objets dont nous venons de parler dans la belle et riche collection de M. Albert Toilliez, ingénieur des mines.

Pustulipora virgula, Hag.
— rustica, id.
— nana, id.
— variabilis, id.
— Benedeniana, id.
Cricopora verticellata, id.
— Reussi, id.
Vincularia canalifera, id.
— bella, id.
— procera, id.
Idmonea lichenoides, Goldf.
— lineata, Hag.
Escharites gracilis, Goldf.
Eschara Boryana, Hag.
— Verneuilli. id.
— rhombea, id.
— Lamourouxi, id.
— filograna, id.
— coronata, id.
— quinquepunctata, id.
Diastopora disciformis, id.

Nous y avons encore recueilli :

Thecidium radiatum, Goldf.
— vermiculare, Bosq.
Terebr. decemcostata, Roemer.
Pentetagonaster (Asterias) quinqueloba, Goldf.
Des radioles de Cidaris Faujasii,

et les Foraminifères suivants :

Nodosaria Zippei, Reuss.
Polymorphina lacryma, d'Orb.
Guttulina elliptica, Reuss.
Globulina globosa, id.
Dentalina sp.
Rotalia species.

Dans le calcaire compact nous avons encore remarqué les deux espèces de Lithodomes abondants dans les couches analogues des environs de Maestricht. On y a également recueilli de beaux échantillons des espèces suivantes d'anthozoaires qui font partie de la belle et riche collection de la ville de Mons, et qui caractérisent cette même couche dans le Limbourg.

Astræa arachnoïdea, Golfd.
— geometrica, id.
— geminata, id.
— gyrosa, id.
— angulosa, id.
— elegans, id.
Gorgonia bacillaris, id.
Moltkia Isis, Steenstrup.
Trigonia limbata? d'Orb.
Cidaris Faujasii, Desor.
Hippurites Lapeyrousii, Goldf.
Crassatella Bosquetiana, d'Orb.
Corbis sublamellosa, d'Orb.
Fungia cancellata, Goldf.
Diploctenium cordatum, id.

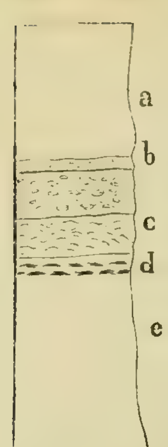
quelquefois aussi cette craie durcie est couverte, comme dans le Limbourg, de Cellepores, de Diastopores, de Serpules, d'Huîtres, etc.

Nous avons donc retrouvé ici la craie tuffeau avec une de ses assises dures d'anthozoaires mais sans une couche de bryozoaires, nous avons recueilli, comme nous venons de le dire, de nombreux fragments de ces petits êtres dans les crevasses et cavités du calcaire dur, mais une véritable couche de bryozoaires manque dans la craie supérieure qui nous occupe.

Près de Ciply à droite de la route qui mène à Vasmes, la craie tuffeau vient encore affleurer, et nous y avons pu étudier une bien belle coupe.

a. Craie tuffeau de Maestricht, de 5 mètres d'épaisseur, de la même couleur et comme dans le Limbourg, souvent fortement colorée par le fer; les fossiles n'y sont pas abondants; on y a recueilli des dents de

Mosasaurus Camperi, H. Von Meyer.
Corax pristodontus, Ag.
Otodus appendiculatus, Ag.
Enchodus Faujasii, id.
Lamna Bronni, id.
Notidanus sp.
Pecten quadricostatus, Sow.
— Faujasii, Defrance.
Exogyra auricularis, Goldf.



Gryphæa vesicularis grande variété, Lam.
— lateralis, Goldf.
Spondylus plicatus, Münster.
Arca rhombea, Goldf.
Pinna diluviana, Schloth.
Crania comosa, Bosq.
Hemipneustes radiatus, Lam.
Hemiaster prunella, id.
Cidaris Faujasii, Des.
Nucleolites scrobiculatus, Goldf.
Cassidulus lapis cancri, Lam.
— elongatus, d'Orb.
Fibularia, sp.

b. Dans la partie inférieure de ce dépôt se trouve une couche qui a 10 à 15 centimètres de puissance contenant un grand nombre de petits fragments de bryozoaires, le plus souvent indéterminables quant à l'espèce, mais appartenant aux genres.

Eschara
Pustulipora.
Ceriopora.
Idmonea.
Ceripora.
Nullipora.

Le Ceripora verticillata y est abondant, il s'y trouve mêlé à des dents de

Enchodus Faujasii, Ag.
Otodus appendiculatus, id.
au Scalpellum pygmæum, Bosq.

et à des débris de Mesostylus Faujasii, Bronn.

Gryphæa vesicularis, Lam.
— lateralis, Goldf.
Terebratula striatula, d'Orb.

Cette couche friable, d'une couleur grise claire, nous rappelait déjà la couche a Fissurirostra pectiniformis de la craie supérieure du Limbourg, mais lorsque M. Toilliez nous a montré, dans la collection du musée, des exemplaires de ce brachiopode et une Idmonea nov. sp., nous n'avons plus douté qu'elle ne fût identique, parce que ces deux espèces ne se rencontrent chez nous, que dans la couche qui sépare le calcaire tuffeau jaune de la craie grossière grise à silex gris.

Ainsi la craie tuffeau du Limbourg est représentée, dans les environs de Mons par ses couches inférieures. Les assises supérieures et notamment les deux couches de bryozoaires manquent.

c. Une couche de cailloux roulés de la grosseur d'un pois à celle d'une noix, mélangés à de la craie grise chloritée et à des blocs plus ou moins grands de craie contenant ces mêmes cailloux souvent recouverts de serpules et bryozoaires encroutants.

Cette couche a ici une puissance de 1 à 1 ¼ de mètre. Nous l'avons encore rencontrée sur d'autres points des environs de Ciply, toujours au-dessous de la craie de Maestricht, et recouvrant la craie blanche à silex noirs.

Elle doit probablement son origine à un fort courant transportant avec lui des cailloux roulés, des restes organiques, des débris de la craie blanche et de sa faune. Car elle contient avec des fossiles bien conservés beaucoup de moules de gasteropodes indéterminables, fortement roulés et tout-à-fait silicifiés. Nous avons déjà cité la conclusion que Mrs d'Archiac et Hébert déduisent de cette dénudation évidente de la craie blanche, à savoir, que les dépôts de craie supérieure de Ciply, de Maestricht et de Folx-les-Caves ont été formés dans des dépressions de la craie (1).

Les fossiles suivants ont été recueillis dans cette couche par Mrs Ch. Le Hardy de Beaulieu, Alb. Toilliez et par nous-même :

Belemnitella mucronata, Schloth.
Baculites Faujasii, Lam.
Nautilus, nov. sp. Dekayi, Morton.
Crania parisiensis, Defrance.
— antiqua, id.
— comosa, Bosq.
— Ignabergensis, Retz.
Gryphæa vesicularis, Lam.
Ostrea hippopodium, Nils.
— semiplana, Sow.
— lunata, Nils.
— flabelliformis, id.
Débris d'Inocerames.

(1) Bulletin de l'Académie royale de Belgique, Tome XX, 1re partie, 1853.

Lima semisulcata, Goldf.
Avicula cœrulescens, Nils.
Janira (Pecten) quadricostata, Sow.
— — quinquecostata, Goldf.
— — pulchella, Nils.
— — cicatrisata, Goldf.
— — striatocostata, id.
Goniophorus pentagonalis, Miller.
Cidaris Faujasii, Desor.
— Sorigneti, id.
— lingualis, id.
— regalis, Goldf.
Catopygus fenestratus, Agass.
Salenia minima, id.
Bourgueticrinus ellipticus, Miller.
Serpula clava, Deshayes.
Eschara faveolata, Hag.
— variabilis, id.
— cyclostoma, id.
— stigmatophora, Goldf.
— Lamarcki, Hag.
— rhombea, id.
Idmonea lichenoïdes, Goldf.
Escharites distans, id.
— gracilis, id.
Heteropora dichotoma, id.
Ceriopora nuciformis, Hag.
Phletopora pseudotorquata, id.
Syphonia cervicornis, Goldf.
Diploctenium pluma, id.
Parasmilia elongata, Milne Edw. et Haim.
Cœlosmilia punctata, id.
— Faujasii, id.
Pentetagonaster (Asterias) quinqueloba, Goldf.

d. Ici le calcaire est fort compact, d'un gris blanchâtre rude au toucher. Il a une puissance de 1 à 1 $^1/_2$ mètre et vers sa partie inférieure il est devenu fort dur. En quittant la localité dont nous venons de parler pour retourner à Ciply, on trouve sur son chemin éparpillés sur le sol des fragments de pierres cornée en tout semblables à celles du Limbourg.

Nous avons remarqué dans cette assise :

Rhynchonella compressa, Lam.
— subplicata, Mans.
Bourgueticrinus ellipticus, Mill.

e. Craie blanche à silex noirs d'une épaisseur d'au moins vingt mètres, comme on peut s'en assurer près du four à chaux à côté de cet escarpement.

Elle contient les fossiles qui caractérisent partout la craie blanche.

Nautilus Dekayi, Morton.
Belemnitella macronata, d'Orb.
Baculites Faujasii, Lam.
Gryphæa vesicularis, Lam.
Pinna quadrangularis, Goldf.
Pecten quinquecostatus, id.
Ananchytes ovata, Lam.
Salenia antophora, Muller
Holaster granulosus, Goldf.
Micraster cor anguinum, Ag.
Tetragramma variolare, Ag.
Crania Ignabergensis, Retz.
Terebratula carnea, Sow.

Cette craie blanche qui entoure Mons comme une ceinture et indique les limites de la dépression dans laquelle la craie tuffeau s'est déposée, a sur quelques points une puissance énorme; ainsi à Nimy, à une petite lieue au Nord de Mons un sondage a traversé 300 mètres de craie blanche sans atteindre la craie chloritée.

A l'entrée de Ciply, dans un chemin creux qui mène au château de Ciply, nous retrouvons les couches de la craie supérieure qui y repose immédiatement sur la craie blanche à silex noirs, sans cailloux roulés, sans pierres cornéennes, comme l'avait remarqué M. Ch. Léveillé. En parlant de cette coupe, M. Hébert ajoute : « Là, en effet, au-dessus de la craie blanche » caractérisée par ses lits de silex et ses fossiles ordinaires » (Ananchytes ovata, Belemnitella mucronata, Rhynchonella » subplicata, Inoceramus Cuvieri, Ostrea vesicularis, Pecten » quinquecostatus, etc.), on voit :

1° « Au contact immédiat de la craie blanche, une assise » de craie de couleur gris jaunâtre, analogue à celle de Maestricht, » et qui forme le toit de l'entrée d'une exploitation.

2° « Craie grise tuffacée, remplie de fossiles et notamment » des suivants :

Belemnitella mucronata, d'Orb.
Terebratula carnea, Sow.
Rhynchonella subplicata, Mant.
Fissurirostra pectiniformis, d'Orb.
Thecidea papillata, Goldf.
Apiocrinites ellipticus, Millen.
Dentalium (Serpula Mosæ,) etc., Bronn,

» Cette assise est épaisse de 8 mètres environ ; on n'y trouve » ni Hemipneustes, ni Baculites ; évidemment elle correspond » à la base des carrières de Maestricht.

3° » Au dessus de cette coupe, les champs contiennent en » abondance des débris de calcaire durs, jaunâtres, ayant la » même texture que le calcaire à polypiers de la Montagne » St. Pierre. »

En remontant ce chemin creux et en traversant ensuite la chaussée, on arrive à l'ancienne route de Maubeuge, où la craie jaune avec la couche à Anthozoaires dont nous avons parlé plus haut, vient affleurer et on peut aussi se convaincre que la craie jaune de Maestricht est supérieure à la craie grise dont il vient d'être question.

Nous avons fait parler M. Hébert, parce qu'il nous a été agréable de nous convaincre qu'avant nous, ce savant géologue a observé à Ciply, comme nous venons de le faire, la couche à Fissuricostra pectiniformis. (1)

Il nous reste à faire observer que dans la couche 1 de cette coupe nous avons recueilli les fossiles suivants :

Ostrea lunata, Nils.
Catopygus fenestratus, Ag.
Holaster granulosus, Goldf.
Terebr. striatula, d'Orb.
— subplicata, Mantell.
Rhynchonella, plicatilis Sow.
Janira (Pecten) quadricostata, Sow.
— — striato-costata.
Dans la couche 2°.

---

(1) Mémoire de la Société géolog. de France 1re série t. II, pag. 32.

Ostrea, sulcata, Goldf.
Avicula cœrulescens, Nils.
Lima semisulcata, Desh.
Nautilus nov. sp.

A Obourg au Nord de Ciply en creusant un puits, on a traversé 20 mètres de calcaire de Maestricht, sans atteindre la craie blanche.

A Maizières aussi au Nord de Mons la craie chloritée qui se trouve sous la craie blanche a une puissance d'environ 2 mètres; Les collections de M. Le Hardy de Beaulieu, Toilliez et de nous-mêmes contiennent de cette localité les fossiles suivants :

Ostrea flabelliformis, Nils.
— sulcata, Goldf.
— carinata, Lam.
Exogyra decussata, Goldf.
— lateralis, Nils.
Janira (Pecten) quadricostata, Sow.
— — multicostata, Nils.
Spondylus spinosus, Sow.
Inoceramus Cuvieri, id
Terebr. gracilis, Schloth.
— semiglobosa, Son.
Serpula gordialis, Goldf.
Dents de Picnodus.
— Lamna.
— Otodus.

Plusieurs espèces de foraminifères et enfin le Scalaire nov. sp. que nous avons aussi recueilli à Folx-les-Caves. Pour faire connaître les couches crétacées du bassin de Mons en-dessous de la craie blanche, nous donnons ici le profil qui nous a été communiqué par M. Alb. Toilliez, que nous avons déjà eu souvent l'occasion de citer.

Senonien.

1 Calcaire jaune tendre de Maestricht, traversé par une couche de calcaire jaune dur caverneux (étage Danien de M. Alc. d'Orb, terrain pisolitique de M. Hébert, tous les fossiles à l'état de moules).
2 Calcaire tendre de Maestricht.
3 Craie grossière tendre de couleur grise produite par de nombreux points verdâtres de chlorite et contenant de nombreux cailloux.
4 Craie blanche proprement dite.

Turonien.

5 Craie grise couche de 1 à 2 mètres.
6 Silex gris en bancs puissants à grands Catillus.
7 Marne argileuse grise.

Cenomanien.

8 Sables calcarifères verts avec galets (Tourtia d'Anzin).
9 Grés calcarifère dur avec points verts.
10 Poudingue calcaire, de couleur ferrugineuse (Tourtia de Tournay et de Montignies sur Roc.

11. Sables mouvants et argiles plastiques. En tout 150 à 200 mètres d'épaisseur.

Quant au terrain pisolitique de M. Hébert, nous croyons avec lui et avec M. d'Archiac, que cette partie supérieure de la craie s'est déposée en France comme en Belgique dans des circonstances analogues, dans des dépressions de la craie blanche, ou les mêmes genres d'animaux marins pouvaient exister et se développer. Il en résulte que tous ces dépôts appartiennent à la même époque et contiennent beaucoup de genres et d'espèces qui leur sont communes. (1)

Cependant le nom de terrain pisolitique ne nous parait pas pouvoir s'appliquer à la craie supérieure de la Belgique et du Limbourg et nous croyons avec M. Hébert, qu'elle présente seulement un autre facies de la même époque.

---

(1) C'est sous ce nom que ce Savant géologue désigne certaines couches de la craie supérieure de France et de Belgique.

APPENDICE.

Nous donnons ici à côté de cette étude rapide de la craie supérieure des environs de Jauche et de Ciply, la coupe générale des couches crétacées du duché du Limbourg, extraite d'un ouvrage *sous presse*, intitulé : *Esquisse géologique et paléontologique des couches crétacées du duché de Limbourg et plus spécialement de la craie tuffeau*, ouvrage qui est le fruit de recherches non interrompues de cinq années.

La craie tuffeau du Limbourg repose sur la craie blanche à silex noirs, dont les couches plongent au Nord-Ouest sous un angle d'environ 52 minutes ; les marnes sans silex la limitent et l'entourent au Sud, à l'Ouest et à l'Est. Au Nord, elle est, pour ainsi dire, coupée par les dépôts tertiaires et quaternaires.

Elle s'étend depuis les lambeaux de Ciply en Hainaut et de Jauche en Brabant, par Otrange, Sluse, la montagne St-Pierre, jusqu'à Kunraad et Vetschau, à 6 kilomètres d'Aix-la-Chapelle, et l'ellipse allongée qu'elle forme dans le Limbourg occupe une étendue de 16 kilomètres de longueur, sur 10 kilomètres de largeur (entre Meerssen et Ryckholt).

Sous le microscope elle montre des fragments de carbonate de chaux, avec de nombreuses coquilles de foraminifères, valves d'entomostracés, spicules de spongiaires, débris d'autres testacés et quelques rares grains de glauconie.

COUPE GÉNÉRALE.

1. Terre végétale.
2. Loess avec restes de *mammouth*, etc., 10 mètres.
3. Cailloux roulés. Dépôt de transport de la Meuse, avec pierres

cornées renfermant des fossiles, de la craie et des restes de *mammouth*, etc., 3, 4, à 20 mètres.

4. Epoque tertiaire représentée par des sables siliceux à paillettes de mica, de différentes nuances, glauconifères, et des argiles, disséminés en lambeaux sur la surface du sol, et sans restes organiques à l'exception des couches contenant des fossiles de l'étage Tongrien supérieur de Dumont, $^1/_2$ mètre à deux mètres.
5. Craie tuffeau, quelquefois fort dure avec un grand nombre de moules de fossiles, épaisseur 1 à 7 mètres.
6. Couche de bryozoaires de 20 à 80 centim.
7. Couche fort dure, perforée par des lithophages renfermant un grand nombre d'anthozoaires, 60 à 70 centim.
8. Craie tuffeau, 6 mètres.
9. Couche fort dure et compacte, crevassée, fort riche en fossiles (bivalves, anthozoaires, et empreintes de gastéropodes), $^1/_4$ de mètre.
10. Seconde couche de bryozoaires, d'un demi à un mètre d'épaisseur, contenant un banc d'huîtres, ainsi que beaucoup d'autres bivalves et le plus grand nombre des espèces de brachiopodes de notre craie supérieure.
11. Couche très-dure, perforée par des lithophages, crevassée en tous sens et renfermant un grand nombre de concrétions lenticulaires qui ont dû séjourner au fond de la mer; car elles sont couvertes de cellépores, de serpules, et de nombreuses empreintes d'anthozoaires; on y trouve en outre cinq espèces de rudistes tous appartenant à la quatrième zone de rudistes de M. d'Orbigny, de l'étage sénonien; $^1/_2$ mètre à 1 mètre d'épaisseur.
12. Craie tuffeau, qu'on extrait à St-Pierre, 12 mètres. Elle est traversée par une couche d'un demi mètre, vrai banc d'huîtres, quelquefois fort dure et par une autre couche endurcie, formant à Fauquemont le plafond des carrières, de l'épaisseur de $^1/_2$ mètre; 4 mètres de la partie inférieure de cette assise sont exploités aujourd'hui à Fauquemont.
13. Couche de 15 centimètres à un demi mètre, quelquefois fort dure, renfermant plusieurs espèces nouvelles pour notre craie et pour la science.
14. Couche pétrie de *Dentalium Mosæ*, *Bronn*, et d'un grand nombre de gastéropodes, 15 à 20 centimètres.

15. Craie tuffeau avec rognons de silex gris, éparpillés dans la masse, 10 mètres.
16. Quatrième couche de bryozoaires formant la couche supérieure du dépôt des marnes de Kunraad, Bensenraad, Huls près de Simpelveld et Vetschau.
17. Marnes de Schaasberg, près de Fauquemont, Ransdahl, Kunraad, Bensenraad, Huls près de Simpelveld et Vetschau, couches dures alternant avec des couches plus friables. Presque toutes les espèces de fossiles appartiennent à la faune de la craie tuffeau. Au Schaesberg, en dessous des rails du chemin de fer d'Aix-la-Chapelle à Maestricht, il y a une couche formant une agglomération du moule d'une petite *turritelle*, dont elle est pour ainsi dire pétrie.

A Ransdaal et dans les environs de Kunraad, tout ce dépôt y compris sa couche de bryozoaires, est couvert par la craie tuffeau grise à silex gris, qui, à St-Pierre, etc. sépare la craie tuffeau jaune de la craie blanche à silex noirs, sur laquelle repose près de Kunraad et Simpelveld, le dépôt de marne dont nous nous occupons en ce moment, ainsi que la marne de Vetschau, comme M. Debey l'avait déjà remarqué. L'épaisseur de ce dépôt est de 30 mètres.

Nous considérons donc tout ce dépôt que caractérise encore d'une manière toute particulière, la présence de tiges cylindriques contournées, différentes des gyrolythes des sables verts, dans toutes les marnières que nous venons de signaler, comme la partie inférieure du dépôt de la craie tuffeau.

18. Couche d'un vert foncé d'une épaisseur de 5 centimètres renfermant beaucoup de coprolithes de poissons et de débris organiques.
19. Craie blanche à silex noirs, dans laquelle nous avons observé en plusieurs endroits des bancs de pierres cornées (hornstein), d'une épaisseur de 9 à 60 mètres (à St. Pierre).
20. Marnes sans silex, d'une épaisseur de 4, 5 à 20 mètres.
21. Marnes dont le carbonate de chaux a été dissous en partie et enlevé par l'action lente et séculaire de l'eau atmosphérique. Deux couches d'argile sans fossiles la traversent près de Simpelveld. Puissance 10 à 12 mètres.
22. Sables verts à gyrolithes et à *Belemnitella quadrata*, avec bancs durcis contenant un grand nombre d'empreintes et moules d'êtres organisés et quelquefois des rognons siliceux,

remplis de ces mêmes fossiles admirablement bien conservés ; mais dont le test est changé en calcédoine.

23. Couche de cailloux roulés.

24. Sable d'Aix-la-Chapelle.

25. Terrain houiller.

La faune de la craie tuffeau seulement, indiquant les côtes et leur voisinage, se compose pour autant que nous avons réussi à la compléter, d'environ 251 genres et 797 espèces, parmi lesquelles une centaine, le caractérisant d'une manière spéciale à l'exception des bryozoaires, ne descendent pas plus bas que la craie tuffeau, et 130 espèces environ continuent, en partie jusqu'à la craie marneuse sans silex et en partie jusqu'au sable d'Aix-la-Chapelle.

Voici un tableau approximatif de la répartition de ces genres et espèces dans les différentes classes.

	GENRES.	ESPÈCES.
Reptiles	4	4
Poissons	14	28
Crustacés	30	89
Céphalopodes	8	17
Gastéropodes	20	80
Cormopodes	35	115
Brachiopodes	10	35
Bryozoaires	60	280
Annélides	5	17
Crinoïdes	4	5
Echinodermes	3	42
Anthozoaires	15	33
Foraminifères	18	39
Spongiaires	5	13
	251	797

Le catalogue des fossiles de Maastricht, publié par M. d'Omalius d'Halloy, et rédigé par M. H. Nyst, contient 345 espèces. Notre catalogue contient donc 452 espèces de plus, à très-peu d'exceptions près, représentées dans notre collection.

En étudiant soigneusement la faune de chaque couche de tout le dépôt de la craie du Limbourg, nous avons acquis la

preuve certaine qu'il appartient en entier à l'époque sénonienne par la continuation dans toutes les couches jusqu'au sable d'Aix-la-Chapelle, d'une centaine d'espèces, dont nous donnons la liste dans notre ouvrage, et l'absence des espèces caractérisant les étages au-dessous de l'étage sénonien.

La craie jaune supérieure d'une couleur grise dans son assise inférieure, caractérisée par une centaine d'espèces dont notre *Esquisse* donne aussi la liste, recouvre la craie blanche à silex noirs qui ensuite devient marneuse en perdant ses rognons de silex, et se chargeant de glauconie, au fur et à mesure qu'elle se rapproche du sable vert; lequel sable glauconieux d'abord plus ou moins calcarifère, devient de plus en plus siliceux et est séparé du sable d'Aix-la-Chapelle par une mince couche de cailloux roulés.

Tout le dépôt, à l'exception peut-être du sable d'Aix-la-Chapelle, est fossilifère ou plutôt, il est traversé horizontalement par un certain nombre de couches fort riches en fossiles, contenant des exemplaires de plusieurs espèces qu'on rencontre dans toutes les couches et d'autres espèces qui sont particulières à une seule et indiquent le temps considérable qui quelquefois a dû s'écouler entre le dépôt de ces couches.

La craie tuffeau qui les sépare, ne contient ordinairement qu'un petit nombre d'individus des espèces de la couche qui les recouvre et de celle sur laquelle elle repose.

Nous avons reconnu quatre groupes plus ou moins circonscrits par une différence pétrographique et par un certain nombre d'êtres organisés, mais appartenant à la même époque sénonienne, à savoir :

Craie tuffeau comprenant aussi le dépôt de Schaasberg, près de Fauquemont, celui de Ransdaal, Huls près de Simpelveld, Kunraad, Benzenraad, Vetschau et les couches supérieures de Ciply, de Folx-les-Caves et Jauche en Belgique.

Craie blanche à silex noirs et marnes sans silex.

Sables verts à Belemnitella quadrata.

Sable d'Aix-la-Chapelle.

Maastricht, 5 mai 1858.

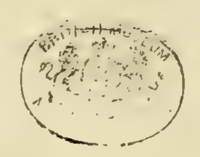


TABLE DES MATIÈRES.

FIN.

